

***Sistema adaptativo de control y optimización de
tráfico en la Ciudad de Córdoba***



TESIS DE GRADO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

INSTITUTO UNIVERSITARIO AERONAUTICO

Tesista: Mariano Miani

Director: Mgt. Pablo Piccolotto

Córdoba, 18 de Noviembre del 2015

Contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.2. Objetivos.....	5
Objetivos generales.....	5
Objetivos específicos.....	5
1.3. Plan de trabajo	5
1.4. Estructura de la tesis.....	6
2. ESTADO DEL ARTE	7
2.1 Sistemas avanzados de gestión de tráfico.....	7
2.1.1 Beneficios	7
2.1.2 Sistemas de control.....	8
2.1.3 Detección y gestión de incidentes	9
2.1.4 Modelación y simulación.....	9
2.1.5 Modelación y simulación on-line	10
2.1.6 Modelación y simulación off-line.....	10
2.1.7 Administración de datos	10
2.1.8 Interfaces a otros sistemas ITS	11
2.2 Antecedentes.....	12
ROMANSE.....	12
SCATS.....	18
COPENHAGEN.....	25
2.3 Computer visión.....	35
2.4 Open CV	38
3.0 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	40
3.1 Salud y Medio Ambiente:.....	43
3.1.1. Los contaminantes atmosfericos.....	44
3.1.2. Incidencia del transito en la contaminación	46
3.1.3. Efectos sobre la contaminación al disminuir la congestión.....	49
3.2 Economía:.....	53
3.2.1 Diversos indicadores revelan una situación agravada y que empeora.....	53
3.2.2. ¿Quiénes pagan los costos de la congestión?	54
3.3 Problema Multifactorial.....	57
4.0 SOLUCIÓN PROPUESTA	58

4.1	Introducción.....	58
4.2	Coordinación de semáforos	59
1.	Coordinación con planes fijos	59
2.	Coordinación flexible o dinámica	59
3.	Sistemas de control centralizado	60
4.2	Técnicas de detección de vehículos.....	61
	Algoritmo Haar Cascade	61
	Background Substraction.....	62
	Selección del algoritmo	66
4.3	Criterios de decisión para selección de herramientas de simulación	66
	Sistema Operativo Portabilidad.....	68
	Documentación del paquete y la interfaz de usuario	69
	Simulación GUI y la calidad de la representación gráfica	71
	Simulación de salida (datos y archivos).....	72
	Análisis de Decisión y Resolución (DAR).....	80
5.0	VERIFICACION EXPERIMENTAL	81
5.1	Preparacion de la simulación en SUMO	81
5.1.2	Configuración del escenario	81
	Red SUMO	81
	Implementación de los sensores OIS (Optical Information System)	82
	Implementación del Algoritmo de control de Semáforos.....	83
	Parametros de salida de la simulación.....	84
6.0	CONCLUSIONES.....	95
7.0	BIBLIOGRAFIA.....	96
8.0	ANEXO	98
	Salida Simulación SUMO	98

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de transporte eficiente es un elemento esencial para el desarrollo de una economía próspera y es un claro indicador de una sociedad madura y vanguardista. Los progresos en el desarrollo automovilístico y la mejora en los caminos han transformado el estilo de vida en las últimas décadas; pero el incremento continuo en el número de vehículos particulares tiene un impacto negativo en nuestras vidas, produciendo congestión, demoras innecesarias y contaminación. Es un problema que requiere de soluciones que no encuentran respuesta siguiendo los lineamientos de pensamiento tradicionales o fórmulas ya validadas.

La congestión en el tránsito ha ido en aumento en casi todas las naciones del mundo – tanto en aquellas sociedades desarrolladas como en las no desarrolladas-; y todo indica que seguirá agravándose, constituyendo uno de los más grandes problemas sobre la calidad de vida urbana moderna. El explosivo aumento del parque automotor y el indiscriminado deseo de usarlos, ya sea por razones de comodidad o estatus y especialmente en los países en vías de desarrollo, ejerce una gran y creciente presión sobre la capacidad de las vías públicas existentes.

En los últimos años, especialmente desde principios de los años noventa, el aumento de la demanda de transporte y del tránsito vial ha causado, particularmente en las ciudades grandes, más congestión, demoras, accidentes y problemas ambientales. Ese aumento explosivo surge de un mayor acceso al automóvil —al elevarse el poder adquisitivo de las clases de ingresos medios—, más acceso al crédito, reducción de los precios de venta, más oferta de autos usados, crecimiento de la población, menos habitantes por hogar y escasa aplicación de políticas estructuradas en el transporte urbano. Este transporte insume, en las ciudades mayores, alrededor de 3.5% del PIB regional, en lo cual incide la congestión de tránsito, que afecta tanto a automovilistas como a usuarios del transporte colectivo y que acarrea pérdida de eficiencia económica y otros efectos negativos para la sociedad.

Los fuertes efectos negativos de la congestión del tránsito, tanto inmediatos como de largo plazo, exigen esfuerzos multidisciplinarios para mantenerla bajo control, mediante el diseño de políticas y medidas apropiadas. El control de la congestión forma parte de la elaboración de una visión estratégica de largo plazo de desarrollo de una ciudad, que permita compatibilizar la movilidad, el crecimiento y la competitividad, tan necesarias actualmente, con la sostenibilidad de la urbe y su calidad de vida.

Para los fines de este trabajo, se detallarán los problemas que afectan al flujo del tránsito analizando y detallando los distintos factores y causas de cada problemática, teniendo como objetivo la reducción de sucesos que afecten al normal funcionamiento del sistema. Se analizó el fenómeno del congestionamiento de tránsito empleando un enfoque

holístico y múltiples perspectivas, desde el modelado matemático hasta los efectos económicos y humanos de los sucesos.

Se detallaron las causas de los problemas de las principales ciudades donde el afluente de vehículos desborda la infraestructura de las redes de tránsito, analizando los factores que participan en este fenómeno, las distintas soluciones para cada caso y los resultados obtenidos.

Luego, se abordó la problemática actual de la ciudad de Córdoba y de sus redes de acceso, se tomaron datos cualitativos y cuantitativos del estado del tránsito en dicho centro urbana.

1.2. Objetivos

Objetivos generales

El objetivo general del presente trabajo es encontrar una solución al problema del congestionamiento vehicular en la ciudad de Córdoba, con un sistema de bajo costo de implementación y que permita aprovechar infraestructura ya instalada. Como resultado, se pretenderá demostrar de forma empírica la disminución de tiempos, costos y polución ambiental a través de la implementación de una solución viable e innovadora.

Objetivos específicos

- Enunciar las principales variables que componen al sistema de tránsito.
- Investigar el estado del arte relacionado a las soluciones en otros países.
- Idear y desarrollar un sistema que permita reducir la congestión vehicular en la ciudad de Córdoba, priorizando la simplicidad, la reducción de costos y el aprovechamiento de la infraestructura disponible.
- Cuantificar, modelar y demostrar los beneficios asociados a la implementación de la solución propuesta.

1.3. Plan de trabajo

- Estudio detallado del problema, antecedentes y situación actual en la ciudad de Córdoba. (3 meses).
- Desarrollo de soluciones tendientes a mejorar el flujo de tránsito en la ciudad y minimizar la cantidad de congestiones (4 meses).
- Estudio del sistema desarrollado (2 meses). Comparación entre diferentes estrategias.

- Análisis de resultados (1 mes).
- Preparación del informe sobre los resultados obtenidos (2 meses).

1.4. Estructura de la tesis

Esta tesis se encuentra estructurada en forma de seis capítulos principales.

En el capítulo 2 se presenta el estado del arte de las tecnologías utilizadas, incluyendo: una descripción general de Computer Vision (sección 2.1), un estudio de los aspectos generales de OPENCV (sección 2.2), mostrando tanto los aspectos generales como los resultados alcanzados por otros autores.

En el capítulo 3 se muestra una sinopsis de los problemas que se intentan resolver en el presente trabajo, incluyendo: una descripción general de los problemas que afectan el flujo normal del tránsito (sección 3.1), una descripción detallada del problema del crecimiento del parque automotor y del saturamiento de los accesos (sección 3.2) y un análisis del problema de la infraestructura (sección 3.3), incluyendo en el análisis los actuales sistemas de control de tránsito (sección 4.4) y detallando los problemas de congestión de la ciudad (3.5).

En el capítulo 4 se explica la solución propuesta a los problemas descritos en el capítulo 3. Una descripción general de las soluciones que se han propuesto para enfrentar estos problemas y las métricas para evaluar su desempeño (sección 4.1), un recorrido más detallado por las técnicas propuestas para resolver estos problemas mediante la adaptación del sistema de tránsito (sección 4.2) y una INTRODUCCIÓN A LAS TÉCNICAS DE CONTEO DE VEHICULOS (sección 4.3), como así también a las TÉCNICAS DE SIMULACIÓN DE TRÁNSITO (sección 4.4).

En el capítulo 5 se presentan los pasos seguidos para realizar la verificación experimental y los resultados obtenidos, más en detalle: una descripción general de la forma en que se llevaron a cabo los experimentos (sección 5.1), un análisis de la relación entre el tamaño de la infraestructura y la cantidad de vehículos (sección 5.2), se estudian los resultados obtenidos al aplicar las técnicas de optimización propuestas (sección 5.3) y se concluye con un análisis comparativo de los resultados obtenidos (sección 5.3.4.4) en sí mismos y comparados con otros trabajos (sección 5.5).

En el capítulo 6 se indican las conclusiones alcanzadas en base a los resultados experimentales obtenidos y se dan posibles líneas de investigación que podrían extender los resultados obtenidos en el presente trabajo.

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presenta: una descripción general de los antecedentes en la materia de sistemas adaptativos, abordando luego el área de computer vision (sección 2.1), incluyendo la definición y clasificación de la librería OPENCV utilizada para la detección y contabilización de vehículos (sección 2.2), como también de los métodos de clasificación existentes (2.3).

2.1 Sistemas avanzados de gestión de tráfico

Los Sistemas Avanzados de Gestión de Tráfico (ATMS en inglés) corresponden a la integración de diferentes tecnologías, maduras y emergentes, de gestión y control de tráfico, con el objetivo principal de manejar y gestionar en forma dinámica las condiciones del tráfico en una región.

2.1.1 Beneficios

Los beneficios que produce la aplicación de sistemas ATMS son los siguientes:

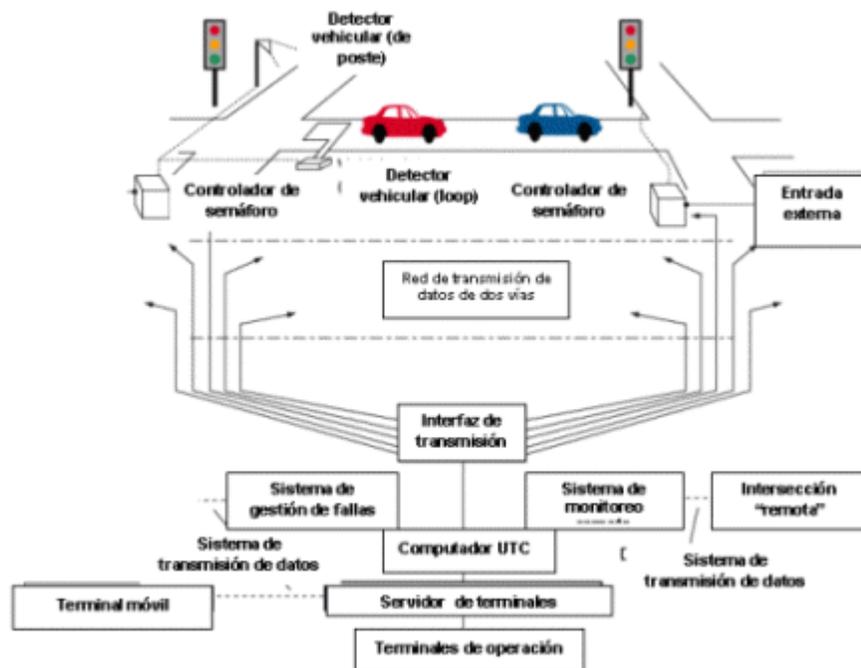
- Reducción de la congestión vehicular
- Maximización del uso de una infraestructura existente
- Disminución del consumo de combustible en los vehículos
- Disminución de emisiones de los vehículos al aire
- Gestión integrada del tráfico en una región determinada, incluyendo arterias, calles y autopistas
- Mejora la perspectiva y la visión de los operadores de tráfico, la gestión del sistema de tráfico, las operaciones, y la distribución de información.

2.1.2 Sistemas de control

En los sistemas de control de tráfico, se pueden distinguir dos niveles funcionales: el primer nivel que es el que provee la plataforma tecnológica base y funcionalidad base de captura, visualización, supervisión y procesamiento de la información de tráfico, que en el caso urbano se llama sistemas UTCS (Urban Traffic Control Systems); y el segundo nivel, que es el que realiza el control propiamente dicho (Ver Figura 1).

El primer nivel está constituido por hardware y software; los que se alimentan de información proveniente del sistema de recolección de datos. El segundo nivel es esencialmente software en el que se encuentran programados los algoritmos de control. Para el caso urbano los algoritmos de control conocidos son: control de intersecciones por planes de tiempo fijo, control de intersecciones por semi-actuación o actuación total, control dinámico de las intersecciones por medio de SCOOT o SCAT.

Diagrama esquemático de un sistema de control de tráfico urbano



El control de intersecciones por planes de tiempo fijo se refiere a la determinación del ciclo de los semáforos de una intersección dependiendo de la hora del día, y del día de la semana. El ajuste de los ciclos se realiza fuera de línea, y después de una campaña de medición de flujos de tráfico, y de una optimización de los ciclos por medio de la herramienta Transyt.

El control de intersecciones por semi actuación o actuación total de los semáforos consiste en que las fases del ciclo del semáforo serán activadas dependiendo de la presencia de vehículos por algún acceso a la intersección. Es un control esencialmente local.

El control dinámico de intersecciones se basa en algoritmos inteligentes en línea, y sobre la base de información en tiempo real, que tienden a optimizar la operación de tráfico de una red de intersecciones (o semáforos). Los algoritmos de control dinámico más conocidos son SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique), desarrollado por TRL (Transport Research Laboratory) y SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) desarrollado por TRA Traffic Technology.

Para el caso interurbano o de control de tráfico aplicado a carreteras, se usa las mediciones de rampas (ramp metering) como la principal estrategia de control del tráfico. Estos dispositivos consisten en regular en forma automatizada el ingreso de nuevos vehículos a las carreteras desde las rampas de acceso. Para realizar esto, se mide el flujo de tráfico en la carretera, el largo de la cola de espera en el acceso, y sobre la base de esta información se acciona un semáforo que otorga el acceso a los vehículos a las pistas principales de la carretera.

2.1.3 Detección y gestión de incidentes

La detección y gestión de incidentes se basa en los datos recolectados por el sistema de recolección y vigilancia. Estos datos son procesados por algoritmos de detección de incidentes. Estos algoritmos comparan las condiciones del flujo de tráfico actuales con parámetros patrones de condiciones de incidentes. Estos algoritmos trabajan con información numérica provista por los sensores de terreno, como también con las imágenes provistas por las cámaras de videos. Sólo una fracción de la totalidad de incidentes ocurridos en una región es detectada automáticamente. El resto de los incidentes es informado a través de llamadas de motoristas, patrullas de policías o reporteros de estaciones de radio o televisión.

El manejo de la situación ante la ocurrencia de un incidente generalmente descansa en el criterio y buen juicio del operador del centro de gestión de tráfico, el cual normalmente se apoya en procedimientos predefinidos ante situaciones típicas. El operador se puede apoyar en modelos de tráfico para validar determinadas acciones o decisiones.

Entre las acciones que puede tomar el operador se cuenta el llamar a vehículos de emergencia, o vehículos de asistencia en ruta, ejecutar acciones coordinadas con otros centros de control de tráfico o transporte en general, enviar mensajes a los sistemas de mensajes variables o a los sistemas de información al viajero, o modificar la programación de los ciclos de los semáforos involucrados en el incidente.

2.1.4 Modelación y simulación

Aunque la visualización gráfica, pantallas, informes y cálculos estadísticos constituyen herramientas muy usadas y muy poderosas de soporte a la toma de decisiones, no serán materia a tratar en este punto, puesto que estas herramientas se proveen como

parte integrante de los diferentes sistemas y tecnologías que constituyen los ATMS. Aquí se considerará que las herramientas de modelación y simulación constituyen en sí mismas sistemas de apoyo a la toma de decisiones.

2.1.5 Modelación y simulación on-line

La mayor parte de los modelos para la simulación de tránsito y tráfico están orientados a ser ejecutados en forma off-line, lo cual hace muy dificultoso utilizar estos modelos para apoyarse en la toma de una decisión operativa. Esta dificultad nace del hecho que estos modelos son intensivos en cantidad de datos de entrada que requieren para ser ejecutados, y a que en general sus estructuras de datos no están integrados a los sistemas en tiempo real.

Modelos on - line son utilizados como apoyo a la gestión de incidentes, los que consisten en sistemas expertos que administran una serie de reglas, que fueron definidas y pobladas sobre la base de la experiencia de un operador experimentado.

Modelos que permiten evaluar el uso de rutas alternativas ante la ocurrencia de incidentes, también son utilizados.

2.1.6 Modelación y simulación off-line

Los modelos fuera de línea utilizados en los sistemas ATMS están orientados a la optimización de planes de tiempo de los semáforos de las intersecciones, sobre la base de mediciones de flujos vehiculares.

Existe una cantidad importante de modelos de tráfico para ser ejecutados fuera de línea. Diversas organizaciones en el mundo han desarrollado este tipo de modelos. La mayoría de estos modelos requieren de una gran cantidad de datos de entrada, y en general son poco amistosos, lo cual hace que para realizar trabajos de simulación se requieran personal especializado para operarlos, en particular de ingenieros de tráfico. Los modelos más conocidos son el TRANSYT (Traffic Network Study Tool), PASSER (Progression Analysis and System Evaluation Routine), MAXBAND (Maximal Bandwidth), y SOAP (Signal Optimization Arterial Package). Todos ellos presentan una carencia de integración con los datos que maneja el resto de los sistemas ATMS.

2.1.7 Administración de datos

En general los sistemas ATMS, en particular los sistemas de control de tráfico, que son el corazón de los ATMS, manejan los datos en tiempo real a través de administradores o estructuras propietarias. El motivo principal radica en las altas exigencias de performance y precisión en el tiempo en el acceso de los datos en tiempo real. No obstante, los fabricantes están proveyendo de las API (Application Programming Interface) correspondientes para realizar la interfaz desde ambientes de aplicación a las bases de datos propietarias, y también hacia las bases de datos estándares del mercado, tales como Oracle, Informix, Sybase, SQL Server, entre otras.

La tendencia en este aspecto, será que los centros de control de tráfico considerarán dentro de su red de sistemas ATMS un servidor de datos, en el cual residirá la información proveniente de los diversos sistemas, pero en un formato y estructuras de datos compartidas por todas ellas y por administradores de datos estándares del mercado.

2.1.8 Interfaces a otros sistemas ITS

Los sistemas ATMS deben formar parte de una arquitectura nacional y regional ITS la cual regula con qué sistemas y cómo deben conectarse entre sí. Para esto se hace uso intensivo de las tecnologías de comunicaciones, las que pueden ser alámbricas o inalámbricas.

Los sistemas con los cuales los sistemas ATMS están relacionados son:

- Sistemas de información al viajero (ATIS)
- Otros centros de control de tráfico
- Centros de operaciones de flotas de vehículos de transporte público
- Centros de despacho de vehículos comerciales
- Sistemas de peaje electrónico
- Centros de operaciones de vehículos de emergencia

Adicionalmente los centros de gestión de tráfico establecen canales de información no estructurados con otras instituciones, tales como:

- Policía
- Municipalidades
- Obras públicas
- Motoristas
- Radios y canales de televisión

2.2 Antecedentes

ROMANSE

ROMANSE fue fundado en 1992 como un multimillonario proyecto piloto para establecer a Southampton como un modelo de sistema de administración de transporte a los largo de Europa a través del uso de un sistema de transporte inteligente (Intelligent Transport Systems ITS). El éxito de este proyecto ha consistido en adquirir fondos del cuarto programa de la Comisión Europea y del departamento de transporte de Reino Unido para investigación sobre ITS y para el desarrollo de la segunda etapa de ROMANSE.

Inicialmente ROMANSE fue parte de la iniciativa europea SCOPE, una colaboración de las ciudades de Southampton, Cologne (Alemania) y Piraeus (Grecia) los cuales atrajeron fondos del primer programa de la Comisión Europea de manejo para el desarrollo de soluciones a los problemas de tránsito. Este programa fue patrocinado por organizaciones del sector público y privado. El principal socio fueron los municipios de Hampshire y Southampton junto con Siemens y el grupo de Investigación de transporte de la universidad de Southampton.

El proyecto inicial estaba compuesto por la recolección, cotejo y difusión de información de transporte precisa al centro de información de Tráfico y Viajes (TTIC) ubicado en Southampton. Los datos recogidos originados desde un número de esquemas pilotos, tenían los siguientes objetivos declarados:

- Influenciar el comportamiento del tránsito
- Incrementar el uso del transporte público
- Maximizar la eficiencia del sistema de transporte
- Asistir para mejorar las condiciones del entorno

La segunda fase de ROMANSE ha contado con la colaboración continua de las ciudades socias en el anterior proyecto y de EUROSCOPE (Efficient Urban Transport Operation Services Cooperation of Port Cities in Europe). El objetivo de Euroscope es demostrar y validar en profundidad los sistemas ITS a través de Europa para mantener una economía sustentable y sistemas de transporte sociales. Euroscope ha expandido el consorcio inicial de SCOPE incluyendo las ciudades de Rotterdam, Strasbourg, Genoa, Hamburg y los socios minoritarios de Cork y Land Brandenburg. El consorcio incluía operadores de transporte público, puertos y centros de transporte, sistemas proveedores integrales, difusores, consultores de transporte y agencias de investigación.

La segunda etapa de ROMANSE será construida sobre la infraestructura provista en el nivel inicial. El centro de información de Viajes y Tránsito de ROMANSE (TTIC)

continuará siendo la base del proyecto. Los sistemas utilizados en el TTIC son descritos debajo.

1.1 Sistema de control de Tráfico Urbano (UTC)

El método principal de control de tráfico es el sistema SCOOT UTC el cual ha tenido su primera aplicación en Southampton en 1983. El sistema está ligado a SIS con el propósito de mostrar información y es usado para controlar el vínculo coordinado de las señales de tráfico y con los sistemas de cruce de peatones como también estacionamiento de vehículos, definiendo signos de información, recolectando información de monitoreo de tráfico y dando prioridad a vehículos de emergencia a través de las rutas de "Ola Verde".

El sistema de control ha sido actualizado dentro de ROMANSE para incluir nuevos sistemas de paradas y corredores con prioridad para autobuses, los cuales pueden restringir flujos de tránsito promoviendo una reacción más efectiva e inmediata a las congestiones de tránsito. El efecto general ha sido mejorar el balance de retrasos a lo largo de las regiones de parada. El resultado de estas estrategias indican un ahorro del tiempo del tráfico no compuesto por ómnibus de 60.000 horas vehículo por año, lo que equivale a un ahorro monetario de aproximadamente £ 240,000 por año.

1.2 Cámaras CCTV - ARTEMIS

Las cámaras del circuito cerrado de televisión (CCTV) fueron instaladas para monitorear el flujo de tránsito en puntos críticos de la red de tránsito a lo largo del centro de la ciudad. Las 30 cámaras situadas en puntos claves de las rutas de Southampton y permite a los operadores de TTIC verificar la situación de la calle. ARTEMIS continuamente escanea las imágenes del CCTV utilizando técnicas de procesamiento de imágenes para detectar flujos de tráfico disminuidos o tráfico estacionario. Es también utilizado para recolectar información estadística de los detectores de lazo inducido para medir la velocidad promedio de tránsito, flujo y de ocupación de carriles. Actualmente ARTEMIS de forma simultánea analiza el output de nueve cámaras

1.3 Señales con mensajes variables

Las señales con mensajes variables (VMS), instalados con ROMANSE son agrupados en tres áreas: guías de ruta, información de estacionamiento y VMS móvil. Tres guías de ruta y sistemas de información han sido instalados en las rutas principales de salida norte y este y proveen información de incidentes y congestión con rutas alternativas sugeridas. Veinticinco nuevos estacionamientos con señales de información han sido instalados los cuales proveen el número de espacios disponibles actualmente en las zonas de los centros de estacionamiento de la ciudad.

Las señales de estacionamiento tienen códigos de color para identificar diferentes zonas céntricas de la ciudad, habilitando a los conductores identificar rápidamente el estacionamiento más cercano en el área de la ciudad a la que desean visitar. En una segunda etapa del proyecto dos guías de estacionamiento de tránsito y dos guías de ruta serán instaladas en Winchester en adición a las cinco guías de ruta al oeste de Southampton. Además, cinco señales de guía móviles han sido instaladas para proveer mejor información a los conductores cuando se esté trabajando sobre la ruta o cuando haya eventos especiales. También son utilizadas para el caso de accidentes importantes o incidentes.

1.4 Procesador Central de ROMANSE (RPC)

En el núcleo del Centro de Información de desplazamiento y tránsito está ubicada el procesador Central de ROMANSE (RPC). Este provee la base de datos principal y comodidades para coordinar el flujo continuo de información en vivo, futura y eventos históricos. Esto permite al operador del sistema decidir estrategias de administración de tráfico analizando un número de sistemas en un proceso. Además los desarrollos incluyen facilidades para controlar automáticamente el nivel y el tipo de información diseminada hacia varios de los visores de información de ROMANSE. Esto se logra a través de definir estrategias automáticas, por ejemplo, para definir el contenido del mensaje en determinado conjunto de señales de tránsito en respuesta a una determinada área de la red de rutas.

1.5 Localización automática de vehículos de Transporte público y Sistema de información de pasajeros (STOPWATCH)

Los sistemas han sido probados en Southampton con el objetivo de proveer información precisa del tránsito para el transporte público previendo que esta hará una contribución significativa a la generación de un cambio modal para el transporte público.

El más significativo es STOPWATCH el cual utiliza tecnología de localización automática de vehículos (AVL) para identificar donde están ubicados los colectivos en las rutas y predecir los tiempos de arribo. Esta información es enviada a los pasajeros que esperan mediante dispositivos electrónicos instalados en las paradas de colectivo. Los colectivos están equipados con unidades de computadora de a bordo (IBCU) los cuales reciben información de balizas en la carretera estratégicamente ubicadas en los corredores y en los lugares claves del recorrido. Esta información es actualizada continuamente usando transmisores de información desde el odómetro del colectivo. El transmisor del colectivo es identificado y localizado a través de la banda de radio IH (200 MHz) cuando es consultado desde el Centro de Desplazamiento y Tránsito de ROMANSE (TTIC). La frecuencia de envío de información desde los colectivos es de 15 segundos, aunque esto puede ser definido a discreción del controlador del sistema. La información es recibida en la estación de radio base en el centro del corredor y distribuida mediante la línea telefónica hacia ROMANSE TTIC. La localización del

colectivo es identificada en un mapa en la pantalla del computador y los tiempos actuales y de viajes históricos son usados para calcular el tiempo de arribo del colectivo a la parada. Los tiempos de arribo son transmitidos a los monitores mediante un sistema de radio de 450 Mhz el cual fue específicamente definido para el proyecto de STOPWATCH.

Un total de 44 colectivos están equipados con monitores electrónicos de información. Los monitores de 30 caracteres muestran los números de servicio de los 3 colectivos más cercanos con sus destinos y tiempos de arribo en minutos.

1.6 Unidades de Visualización Inteligentes (IDU)

Las IDUs son pantallas de visualización de información similares a las utilizadas para el arribo de trenes en la estación pero utilizando comunicación mas avanzada y sistemas de visualización. Once IDUs han sido instaladas en lugares públicos y estacionamientos en el centro de la ciudad de Southampton para la visualización de la información de desplazamiento y del tráfico en vivo.

Los IDUs son controlados desde ROMANSE TTIC utilizando software. La información es ingresada utilizando formatos predefinidos de entrada, luego transmitiendo a través de trasmisores de radio de baja energía hacia computadoras dentro de las pantallas que muestran los mensajes y a su vez distribuyen una respuesta de nuevo hacia la terminal de control para confirmar su recepción. Esto permite que las últimas novedades del tránsito alcancen una amplia audiencia, permitiéndoles tomar decisiones en base a la información sobre donde y/o que ruta tomar para dejar la ciudad.

1.7 Sistema de Información de salida de Colectivos (BDIS)

Unidades de visualización de información (IDUs) están actualmente en operación en sitios alrededor de Southampton proveyendo información de la red de transito incluyendo condiciones de transito e información del transporte público. Además, tres IDUs han sido instalados recientemente en la estación Eastleigh como parte del sistema de información de salida de Colectivos (BDIS). Los IDUs están posicionados a lo largo del curso de la estación de colectivos y están conectados a la terminal de transito la cual está ubicada en la oficina de operadores de colectivo. Ellos proveen información en destinos de colectivos, rutas, tiempos de salida y de plataformas de salida. Además, desde la terminal de transito, el operador de colectivos tiene la facilidad para informar a los pasajeros si un servicio particular es cancelado, modificado, o retrasado.

Un tercer formato de pantalla esta también disponible en el cual se visualiza información general. Proveyendo información de esta manera, el usuario del transporte de transito se mantiene bien informado y confiado para planificar sus

viajes, con el sistema de transporte público como el sistema preferido de movilización

1.8 TRIPlanner

Para fomentar al público de utilizar transporte público es importante proveer información la cual mejore e inflencie las decisiones de los usuarios promoviendo la demanda de transporte público. Un sistema de este tipo es TRIPlanner, que permite a los usuarios planificar viajes. Las terminales son unidades independientes ubicadas en intercambiadores de transporte public como estaciones de tren, terminales de ómnibus y aeropuertos y en lugares públicos como shoppings o bibliotecas. Dieciocho TRIPplanners han sido instalados en varias ubicaciones. Utilizando una pantalla táctil y un simple menú de opciones, la secuencia de consulta, disponible en Ingles, Frances o Aleman, empieza con la selección del usuario de ambos tipos de transporte, público o privado.

El paquete de planeamiento de ruta privada es el producto de la asociación de Automoviles "Milemaster", incorporado en TRIPlanner bajo su licencia, este provee detalles de la ruta más rápida por carretera entre dos lugares deUK, basados en los tiempos promedio de viaje. Un mapa de la ruta seleccionada se muestra además en la pantalla.

Para viajes de transporte público, el usuario puede definir el inicio y el fin del viaje seleccionando los lugares de interés, nombres de calles o nombres de lugares. Tambien se puede seleccionar l día o la fecha, y luego del ingreso de datos el más óptimo viaje es calculado. Con ambas opciones, viajes privados y públicos, una impresión de la ruta calculada es entregada al usuario. El TRIPPlanner además ofrece información de atracciones turísticas, costos de taxis y hoteles.

1.9 Terminal de Viaje

El intercambio de información con otras organización de viajes también ha sido establecido con la introducción del sistema de Terminal de viaje, una red expandida de computadoras dedicadas a intercambiar información de viaje entre frafico, centros de control de transito y radiodifusores de información regionales y nacionales. La terminal de Transito contiene formas de entrada predefinidas relacionando incidentes especificos (por ejemplo accidentes de transito, trabajo en ruta, retraso de trenes / cancelación) lo que permite al operador ingresar detalles claves (ej: localización, direccion) además de cualquier otra información adicional (ej: duración esperada).

Los mensajes compilados son luego enviados a las terminales de transito o a las maquinas de fax de organizaciones seleccionada. Dentro de ROMANSE, las terminales de transito han sido instaladas en una sala de control de la fuerza policial de Hampshire y en el centro de tránsito de trenes los cuales se comunican con la terminal de transito en el TTIC de ROMANSE. Los mensajes son distribuidos por radiodifusores.

Destinatarios incluyen estaciones de radio local como también la Unidad de Transito de la BBC y AA RoadWatch, los cuales conjuntamente son responsables por la diseminación de la información via CEEFAX y paginas de TELETEX.

1.10 VIDEOWAY

La provisión de información local para el planeamiento de los viajes es el objetivo clave de ROMANSE. Este ha sido alcanzado indirectamente mediante la provisión de información de la terminal de transito a radiodifusores y proveedores de servicio teletex. En adición a esto, la provisión de información de transito a usuarios de televisión por cable ha sido establecida mediante la información del servicio de ROMANSE Videoway. Videoway es una mejora del servicio de teletex provisto por el proveedor de cable local.

1.11 Radiodifusores de Noticias de Transito

Desde Septiembre de 1994 la radio de la BBC ha estado utilizando la tecnología de la información disponible en ROMANSE para extender su existente rango de fuentes de noticias de transito, brindando un servicio mas preciso y actualizado. Esto ha tenido el importante beneficio adicional de proveer publicidad valiosa para el proyecto y ayudar ampliamente en incrementar la conciencia publica sobre ROMANSE

1.12 Servicios de pedidos telefónicos

El servicio de pedidos telefónicos de ROMANSE consiste en dos elementos, un sistema de mensaje pregrabado y un servicio de fax. Ambos sistemas usan el mismo número y requiere que los que llaman tengan teléfonos móviles. Los pedidos que arriban son manejados por una serie indicaciones de voz requiriendo a los que llaman hacer selecciones en el tipo de información presionando los números relevantes en el teléfono. Para el servicio de mensajes grabado, el usuario es guiado hacia la información requerida, donde un mensaje grabado repite las últimas novedades de transito. El servicio de fax está disponible a usuarios con máquina de Fax, proveyéndoles con copias impresas con la última información de transito incluyendo mapas y horarios de transporte publico

SCATS

Introducción

La congestión del tráfico tiene impactos negativos significativos sobre la economía, el medio ambiente y la calidad de vida de la comunidad como lo demuestra:

- Aumento de los costos de transporte asociados a las tareas de la carretera y de transporte de mercancías, lo que afecta negativamente la productividad nacional y la competitividad.
- El aumento de las emisiones de CO₂ de los vehículos, debido al aumento de tiempo de inactividad.
- El descontento de la población por la falta de una gestión eficaz del tráfico como el tiempo de viaje de destino se incrementa. Aunque también pueden ser necesarias políticas y la reforma a través de la tarifa de congestión y de integración de la red global, el enfoque de este informe estará en la capacidad de la tecnología para impactar en la gestión de la congestión. La inversión en infraestructura ha demostrado en el rendimiento a nivel nacional y mundial que se puede implementar para superar las ineficiencias actuales. Dado que el gobierno todavía se enfrenta a un déficit de infraestructura de \$ 300 mil millones, las limitaciones presupuestarias significan que hay un aumento de la presión para invertir en el proyecto adecuado para el mejor uso de los fondos públicos (infraestructura Australia, 2013). Esto puede ser ejecutado por la utilización eficaz de la red de transporte existente en las iniciativas de bajo coste.

Sistemas de control de tráfico adaptativo (ATCSs)

Sistemas de control de tráfico adaptativo (ATCSs) utilizan los datos de tráfico en tiempo real, en un intento de optimizar el tiempo y la longitud de las señales luminosas de tráfico (Zhao y Tian, 2012). Como resultado, ATCSs eficaces apuntan a minimizar los tiempos de parada y retrasos en un intento por reducir la congestión del tráfico en las principales zonas urbanas. Un gran número y variedad de ATCSs se han desarrollado e investigado el uso de diferentes métodos y la estructura de control para reducir los tiempos de viaje y la congestión. Además de ATCSs tradicionales y populares, como el Sistema Sydney Coordinado Adaptativo de Tráfico (SCATS), varios desarrollos nuevos, cada uno con todavía diferentes principios subyacentes similares, se están aplicando en todo el mundo, incluyendo OPAC, RODAS, ACS Lite y InSync (Zhao y Tian, 2012). Esta sección del informe se examinará y revisará el sistema de SCATS contra InSync Rhythm Ingeniería, un controlador emergente en el campo.

2.1. Sistema adaptativo coordinado de trafico (SCATS)

SCATS es uno de los ATCSs más utilizado en Australia y en el mundo, desarrollado por la Autoridad de Carreteras y Tráfico (RTA) de Nueva Gales del Sur, Australia en la década de 1970 (Zhao y Tian, 2012). A partir de noviembre de 2011, más de 3.700 semáforos dentro de Nueva Gales del Sur estaban conectados, monitoreados y controlados utilizando la red SCATS (Caminos y Servicios Marítimo, 2011). El sistema de control implica el uso de bucles inductivos debajo de la superficie de la carretera inmediatamente antes de la línea de parada en la intersección de una carretera. Los bucles de inducción se utilizan para detectar la presencia de un vehículo además de medir el grado de saturación y el flujo de tráfico a través de un ciclo de ajuste (Samadi, et al., 2012). Los datos recogidos a través de los bucles de inducción se reúnen en el controlador local situado en cada intersección que luego se transmite a un ordenador regional. Luego se analiza los datos y evalúan por el equipo regional con el fin de calcular los ciclos largos, escisiones y compensaciones más apropiadas para la red de controladores locales dentro de un radio del equipo regional. Los tiempos de señal se vuelva a transmitir de nuevo a los controladores locales para implementar los cambios de luz apropiadas a la serie de intersecciones (Dineen y Cahill, 2001).

2.2. InSync

El sistema de control de tráfico adaptativo InSync fue desarrollado por Ingeniería Rhythm en 2005 (Rhythm Ingeniería, 2013). El sistema de control InSync implica la instalación del Protocolo de Internet (IP) de detección de las cámaras en las intersecciones de tráfico. Las cámaras se utilizan para detectar y cuantificar la situación de la demanda de tráfico, además de permitir el monitoreo en vivo de una intersección de un navegador de Internet (Rhythm Ingeniería, 2013). A diferencia de la mayoría de los sistemas de control tradicionales, InSync no utiliza el concepto de longitudes de ciclo, escisiones y compensaciones, que son todos los componentes del control de la señal analógica. Los sistemas de control analógico basan en el uso de un dial mecánico giratorio que consiste de las regiones marcadas reservados para indicar condiciones. En su lugar, el sistema InSync utiliza el concepto de una máquina de estado finito. La máquina de estados finitos se compone de todos los estados posibles dentro de la intersección, que se agrupan más en secuencias. En cualquier momento, un estado específico puede ser llamado, dando lugar a una transición de la señal dentro de la máquina. Utilizando esta metodología, la lógica desarrollada por optimización local se puede anular en cualquier momento mediante la optimización global (Siromaskul y Selinger, 2010). La arquitectura digital de InSync realiza optimización en dos niveles; local y global. A nivel mundial, el sistema de control utiliza el concepto de pelotones y se centra en mover estos pelotones a través del corredor de tráfico seleccionado con el más alto nivel de eficiencia. Una técnica de conseguir esto es mediante el control de los tiempos verdes de cada intersección; permitiendo pelotones para viajar a través sin perturbación (véase la sección 3 sobre el Green

Wave). Como resultado, el enfoque principal de la optimizador global es para asegurar que las intersecciones interconectan con el fin de permitir que estos pelotones viajen a través con las señales verdes. El control de las intersecciones fuera del tiempo verde es entonces la responsabilidad del optimizador locales, que no requiere el uso de un equipo regional. El optimizador local utiliza un algoritmo que trata sobre el volumen y el retraso de los vehículos particulares. El algoritmo, conocido como el algoritmo 'codicioso', tiene por objeto limitar el tiempo que cada vehículo debe pasar en una intersección mediante la aplicación de ponderaciones a cada uno de los vehículos. Por lo tanto, un pasillo con una mayor demanda de vehículos tendrá un mayor peso y prioridad a los corredores más pequeños (Siromaskul y Selinger, 2010). Además, los parámetros locales pueden ser utilizados para dar mayor prioridad a los vehículos individuales, como autobuses o vehículos de emergencia (véase la sección 4 de Señales Prioridad de tráfico).

2.3. Comparación

Mientras que los controladores de tráfico adaptativos tienen como objetivo reducir el tiempo empleado en las intersecciones de tráfico, tiempo de viaje, el número de paradas y el volumen de vehículos, las metodologías de arquitectura y de control detrás de ambos difieren. SCATS, utiliza métodos de control de reactivos, mientras que el controlador InSync utiliza metodologías tanto reactivas y proactivas (Stevanovic, 2010). En 2010, un estudio fue realizado por la ingeniería HDR (Selinger y Schmidt, 2010) con el fin de evaluar y comparar el rendimiento y los costes relacionados con InSync, SCATS y ACS-Lite. El uso de estos resultados, el sistema de control InSync y SCATS se compararán con el fin de seguir la recomendación de la mejor o más factible tecnología. La primera sección del informe HDR comparó los aspectos operacionales de los sistemas de control, basado en la reducción arterial tiempo de viaje, reducción de paradas y la reducción en la demora en diferentes intersecciones de los EE.UU. InSync superó tanto SCATS y ACS Lite en las tres categorías de rendimiento durante los horarios pico. Sin embargo, también hay que señalar que el informe examina las tecnologías de diferentes intersecciones, es decir, los resultados proporcionan sólo estima que la forma en que se pueden comparar. La segunda área investigada por el informe HDR fue el costo total de cada tecnología por intersección. InSync se considera que tienen el menor costo por intersección, con un promedio de \$ 28,700 USD, mientras que el costo de SCATS era hasta \$ 60,000 USD por intersección. Sin embargo, también se ha informado de que los costes de instalación para SCATS están en el rango de \$ 20,000 - \$ 30,000 USD (Zhao y Tian, 2012), con lo que el costo de acuerdo con el costo de InSync. Cabe señalar que la mayoría de las intersecciones en Sydney están equipadas con la tecnología SCATS, por lo tanto, para la mayoría de las intersecciones, no sería necesario el costo. Los hallazgos de la ingeniería HDR, InSync se encontró que tenía el menor costo y los beneficios operacionales de cada uno de los sistemas. Sin embargo, con los controladores instalados actualmente heces a través de una gran parte de las intersecciones a través de Sydney y Nueva Gales del Sur, los costos de instalación y el tiempo necesario para la tecnología específica pueden ser ignorados.

En cuanto a rendimiento, InSync ha demostrado que resultó en un mayor alivio de la congestión del tráfico, con tiempos de viaje más bajos, menos escalas y una reducción de la demora. Del mismo modo, el uso de cámaras IP con el sistema de control InSync permitiría el seguimiento visual de todas las intersecciones en entornos urbanos, lo que resulta en una detección más rápida y eficiente de los retrasos en el tráfico, accidentes o condiciones meteorológicas adversas. Otra área potencial de mejoría con InSync surge con su uso de la comunicación Ethernet (Stevanovic, 2010). El despliegue de la Red Nacional de Banda Ancha (NBN) en Australia, que actualmente tienen lugar y predijo para terminar el año 2021 (NBN Co Limited, 2010) se ha estimado para alcanzar velocidades de comunicación de Internet de hasta 100 megabits por segundo. Además, la red se prevé llegar a aproximadamente el 93 por ciento de los locales 'a través de Australia (NBN Co Limited, 2010). Si los sistemas de comunicación Ethernet InSync eran para operar dentro de esta red, la transmisión instantánea y fiable de los datos de ambos los controladores y cámaras IP para controlar autoridades podría lograrse con el fin de proporcionar información en tiempo real de las condiciones.

3. Onda Verde

Onda verde es una estrategia de control de la gestión del tráfico, que sincroniza la fase verde de los semáforos para permitir el flujo eficiente del tráfico. Una vez que un vehículo ha sido detectada por un sensor, será progresivamente recibir señales verdes en las intersecciones sin parar el vehículo para la distancia deseada (Kelly, 2011). Los coches están agrupados en pelotones de diferentes tamaños, determinado por los tiempos de la señal, que progresan a través de la ola verde a una velocidad uniforme (Kerner, 2013). Los espacios que quedan entre los pelotones tienen un intervalo de tiempo ideal que puede ser explotada por pelotones en la otra dirección en una estructura vial de rejilla sin interferencias (Cools, 2012). Esto se puede implementar de forma estática con el uso de temporizadores que controlan las señales de luz verde para una velocidad pre-determinada. Sin embargo, el modelo tiene una alta probabilidad de averías onda verde que puede ocurrir cuando hay una perturbación en el que los vehículos no pueden mantener la velocidad uniforme. Por lo general, esto surge cuando hay vuelta-en el tráfico de una calle transversal que entra en el tráfico de la onda verde. Llevando a hacer cola durante la fase roja y obligando a la disminución de la velocidad del vehículo, la velocidad de esta perturbación se propaga a través de la onda verde. Un sistema de control adaptativo puede superar esta ineficiencia utilizando datos de los sensores en tiempo real en los semáforos, lo que puede explicar el tiempo de retardo midiendo la entrada y salida de vehículos a través de una intersección. Los sistemas dinámicos que vinculan señales luminosas de tráfico es posible con el uso de los sistemas de control de tráfico de la zona (ATCSs) que utilizan algoritmos para interconectar las intersecciones complejas. La principal ventaja de la optimización de señal de tráfico de la onda verde surge con el flujo constante de tráfico, lo que resulta en la reducción de la congestión de parada y arranque, además de un desperdicio de energía y las emisiones. Los resultados de un estudio de caso en Manchester, mostraron que hubo una disminución de 7,6% en las emisiones de CO2 y

más significativamente, una reducción de 35,2% en comparación con el tiempo de viaje de una red no sincronizada (Kelly, 2011)

4. Prioridad de las señales de tránsito

Hay un margen de mejora a la idea de la onda verde, ya que se puede extender a la utilización de vehículos de emergencia de suscripción preferente (EVP) detectando cuando los vehículos de emergencia se están acercando a una intersección y el cambio de las señales puede dar prioridad a la circulación de estos vehículos. Esta lógica similar se puede utilizar para resolver los problemas de congestión, especialmente de la acumulación de tráfico durante horas pico, que se ve agravada por los vehículos más grandes, tales como autobuses. Los autobuses y vehículos de emergencia pueden ser equipados con transpondedores para el uso de GPS y de infrarrojos para comunicarse con detectores de aguas arriba, con el fin de priorizar el flujo de autobuses a través del tráfico mediante la progresión de la onda verde de controladores de señal coordinados (Gardner, 2009). Técnica de tanteo-Tráfico adaptativa ha demostrado la mejora de los tiempos de viaje de estos vehículos en un 39% (Kamalanathsharma, 2012). La prioridad para autobuses se ha implementado en Portland EE.UU. utilizando tecnología codificada de comunicación por infrarrojos para extender un período verde calles abajo cuando se hace una petición de prioridad (Gardner, 2009). Como la teoría de flujo indica, los vehículos más grandes contribuyen más a la congestión; Por lo tanto, mediante el ajuste de estos sensores en los autobuses no habría mejora significativa en la velocidad media de transporte público. Por lo tanto, una reducción del tiempo de tránsito sería incentivar a más usuarios de la vía para adoptar el transporte público. El efecto de flujo en reduciría el número de vehículos privados, por lo tanto, disminuyendo aún más la congestión.

5. Información de automoviles

El sistema de control de tráfico actual en Sydney se basa en unidades de vigilancia estacionarios, tales como el bucle de inducción, para recopilar datos de tráfico. Los datos recogidos por estos detectores es incompleta y no proporciona una imagen clara de la naturaleza del tráfico en Sydney. Es imposible inferir de los datos recogidos cualquier información útil sobre los tiempos de viaje o el volumen de la congestión. El término datos de vehiculo moviles se refiere a los datos que se proporciona ya sea desde un teléfono o GPS unidad móvil que está estacionado en el interior del coche en movimiento. Los teléfonos móviles transmiten continuamente los datos de localización, junto con una marca de tiempo, al proveedor de servicios. La velocidad que el teléfono se está moviendo a se puede derivar de estos datos, y por lo tanto utiliza como indicador de la congestión. Un informe de Gühnemann et al. en 2003 se analizaron un juicio con lo que se monta un gran número de taxis en diferentes ciudades europeas con el GPS para rastrear su viaje. Cada taxis tiene un ID individual y partir de los datos recogidos, una base de datos se ha generado que muestra que los

caminos de cada gran experiencia de la ciudad cantidades de congestión, y en qué momento del día. Se informó que, "En función de la intensidad con la que se pueden implementar medidas (por ejemplo, la cuota de los vehículos equipados con sistemas dinámicos de enrutamiento o la utilización de los sistemas de control de señales de tráfico adaptativo) y la situación específica", Prognos y Keller (2001) estiman un aumento de las capacidades de red mediante 3% a 10% para Alemania (Gühnemann, et al., 2003).

6.0 Deteccion de estacionamientos

EL tráfico relacionado a aparcamiento-contribuye al 30% de la congestión, como vehículos circulando alrededor de su destino para encontrar un lugar disponible para aparcar (Zhao, et al., 2012). La detección de aparcamiento y sistema de guía podrían ser utilizados para adquirir datos en tiempo real de plazas de aparcamiento disponibles para usuarios de la carretera, aportando a la disminución de la congestión en cierta medida. Esquemas de gestión de aparcamientos establecidos emplean el uso de sensores fijos y unidades en carretera (RSU). Estos sensores o unidades son detectores inalámbricos que están instalados en el espacio de coche para detectar la presencia de un vehículo. Los datos recogidos a continuación, son procesados por la unidad de control central. El estado de estacionamiento puede ser representada en las señales de mensaje variable (NRMA, 2013) para los vehículos en busca de plazas de aparcamiento. La ciudad de San Francisco ha instalado estos sensores a lo largo de espacios para autos en toda la ciudad, en el marco del proyecto SFPark, que además utiliza la tecnología de aplicación de telefonía móvil para navegar por los vehículos a disposición de aparcamiento en la calle. Sin embargo, la desventaja de este esquema es que los costos estimados de la instalación y el sistema de gestión del aparcamiento son entre \$ 250- \$ 800 por punto (Zhao, et al., 2012). Otras iniciativas son aplicaciones orientadas al usuario, tales como el Waze integrado con Google Maps que se agolpan automáticamente las fuentes de información sobre el tráfico mediante el seguimiento de dónde y cómo los usuarios en coche, con el fin de informar de los cambios en las condiciones del camino (Arthur, 2013). La ventaja de esta tecnología es que es libre y puede ser utilizado como un método de cálculo del volumen de coches en puntos de pellizco congestionadas; a continuación, estos datos se puede utilizar para optimizar los sistemas de transporte inteligentes actuales.

7.0 Japón como un caso de estudio

El sistema de control de tráfico en Japón es un sistema de transporte inteligente de múltiples facetas que sirve no sólo para aliviar la congestión, pero para ayudar en la conducción más segura y reducir al mínimo los impactos ambientales asociados a la congestión. Un número de diferentes subsistemas de control de tráfico están en funcionamiento, y estos se denominan colectivamente como el Sistema de Gestión de Tráfico universal (UMTS). Cada uno de los subsistemas sirve funciones únicas que son operados bajo la información del sistema de comunicación del vehículo (VICS). El VICS

analiza los datos de tráfico para informar a los conductores de las condiciones del camino. Un gran número de dispositivos de detección, tales como cámaras de vídeo, sensores infrarrojos y detectores ultrasónicos se han instalado en las carreteras de Japón para recopilar datos sobre las condiciones del tráfico y de la carretera. Los datos recogidos en las unidades de detección es transmitida a una unidad central de procesamiento de datos para su análisis. La información sobre las condiciones del tráfico proporcionadas por el análisis a continuación, se comunica a los conductores en un diferentes número de maneras, incluyendo su transmisión al sistema de navegación de a bordo del vehículo, que se muestra en los tabloneros de anuncios electrónicos y transmitido por la radio (Hollborn, 2002).

7.1 Sistemas prioritarios en transporte público (PTPS) y Sistemas Preferentes de Vehículos de Emergencias (EVP)

El PTPS actúa para promover el uso del transporte público, aliviando así la congestión. Un sensor de infrarrojos detecta cada vehículo prioritario cuando se aproxima a un conjunto de luces de tráfico, con la longitud de cada fase de las señales de tráfico ajustados para reducir al mínimo el número de paradas. El uso de sistemas de EVP, también se les da prioridad a los vehículos de emergencia a través de las intersecciones. La información con respecto a los vehículos de emergencia también se envía a las unidades de navegación de a bordo de los coches en las inmediaciones para advertirles de que el vehículo de emergencia se aproxima (Sociedad UTMS de Japón, 2013).

7.2. Protección Ambiental de los Sistemas de Gestión (EPMS)

El EPMS es posible gracias a la instalación de sensores de escape y sonoras de carretera y sensores infrarrojos. Los sensores detectan si el escape o la contaminación acústica a lo largo de una carretera particular, es cada vez más pesado que un cierto nivel y, si este es el caso, el centro de control de tráfico le avisará coches de congestión a través de uno de los métodos anteriormente discutidos y sugieren rutas alternativas. Japón también utiliza peaje electrónico en el 87% de sus vías de peaje y, de acuerdo con el Gobierno de Japón (2013), la reducción de la congestión en los puntos de peaje solo reduce las emisiones anuales de dióxido de carbono en 210.000 toneladas por año. El Gobierno también afirma que los accidentes en la autopista metropolitana se han reducido en un 60% como consecuencia de la transmisión de alertas (Gobierno del Japón, 2013).

8. Recomendaciones

Análisis de las tecnologías ATCS discutidos ha identificado áreas de posible mejora a la infraestructura SCATS existentes en Sydney. La tecnología InSync es a la vez relativamente barato de implementar y ha demostrado ser un controlador de tránsito eficaz. Por ello se recomienda que, tras la identificación de canales congestionados usando datos de automóviles flotantes, configuraciones de control InSync y cámaras IP

puedan integrar en la infraestructura existente para aliviar la congestión. Utilizando esta tecnología, la ideología Ola Verde se puede adoptarse para optimizar los flujos de tráfico. Además, la utilización de la tecnología de InSync permite un alojamiento futuro de las señales de tráfico de prioridad como los empleados actualmente en Japón.

COPENHAGEN

LUZ EXTRA EN LAS RUTAS, MUCHOS ACCIDENTES OCURREN EN LA OSCURIDAD

Un tercio de todos los accidentes de tráfico se producen durante las horas de oscuridad a pesar de que hay mucho menos tráfico durante la tarde y la noche que durante el día. Los usuarios vulnerables de la vía están en mayor riesgo. Las dos terceras partes de todas las personas gravemente heridos o mueren en accidentes de tráfico son ciclistas y peatones.

ALUMBRADO PÚBLICO INTELIGENTE

Alumbrado público inteligente significa sinergia efectiva entre alumbrado público y semáforos. Hoy en día, estos se ejecutan como dos sistemas separados sin ningún tipo de intercambio de información. La comunicación entre estos dos sistemas conduciría a una mayor seguridad y la seguridad de los usuarios vulnerables de la vía. Podría ser utilizado para proporcionar iluminación de las calles más brillante en cruces de carreteras peligrosas cuando es necesario - por ejemplo, cuando los sensores detectan los ciclistas que se acercan o en situaciones con visibilidad seriamente reducido debido a la lluvia, nieve o niebla.

PRUEBA PILOTO

En abril-junio de 2014, una prueba piloto se realizó en uno de los cruces de carreteras más concurridas de Copenhague, a saber, el HC Andersens Boulevard y la intersección Tietgensgade. Cuando las luces eran de color verde para los ciclistas, el alumbrado público se hizo más brillante durante la tarde y la noche. De esta manera, el enfoque del carril de bici hasta el cruce estaba bien iluminado, cuando los ciclistas se movieron hacia la luz verde. Esto hizo a los conductores más conscientes de los ciclistas y al mismo tiempo ahorra energía al no tener alumbrado público funcionando a plena potencia. Los resultados del ensayo mostraron que la comunicación entre la iluminación de la calle y las señales de tráfico sea técnicamente posible y que hay un potencial de sinergia entre los sistemas. Además, hubo comentarios positivos de los ciclistas que fueron inundados con la luz en la pista para bicicletas que forman parte del estudio.

BENEFICIOS

La comunicación inteligente entre el alumbrado público y semáforos puede beneficiar a los usuarios de la carretera de Copenhague por:

- La intensificación de la iluminación por encima de los ciclistas y peatones en los lugares que se convierten en puntos negros en la oscuridad.
- Mejora de la seguridad y la seguridad mediante el aumento de la concienciación de los usuarios vulnerables de la vía automovilistas. Comunicación inteligente puede potencialmente ser desarrollado para:
 - Intensificar la iluminación de las calles cuando los sensores detectan la proximidad de los ciclistas y peatones.
 - Adaptar el alumbrado público a las condiciones climáticas como la lluvia, nieve o niebla.
 - Intensificar el alumbrado público en el caso de los accidentes de tráfico.
 - Permitir la intensidad de luz que varía con las condiciones del tráfico. Es una noche oscura y un ciclista está montando a lo largo de HC Andersens Boulevard. Cuando el ciclista se aproxima a la intersección Tietgensgade, la luz se convierte en los automovilistas que hacen más brillantes conscientes del ciclista

VIDA EN LAS CALLES EN PARQUES DE APARCAMIENTOS VACIOS EN TIEMPO DE DIURNO

En una ciudad densamente poblada, donde muchas personas viven, trabajan y se mueven, los espacios urbanos tienen que adaptarse a una variedad de funciones que a menudo cambian en el transcurso de un período de 24 horas. En ciertas zonas de Copenhague, aparcamientos están vacíos durante el día, y estos espacios no se utilizan.

ESPACIOS URBANOS FLEXIBLES

Uso flexible de las zonas de aparcamiento puede satisfacer diversas necesidades de forma simultánea. Durante el día, los espacios vacíos se pueden utilizar como áreas al aire libre que sirven como: aparcamiento de bicicletas, tienda de exhibiciones, actividades deportivas y de ocio, etc. En la noche, cuando los coches regresan, vuelven a convertir en zonas de aparcamiento. Mediante el establecimiento de espacios de estacionamiento flexibles para los clubs de automóviles, será posible liberar más

espacio de aparcamiento para otras actividades.

PRUEBA PILOTO

Las zonas de aparcamiento flexibles se pusieron a prueba en abril de 2014 a Saxogade y Estlandsgade en el distrito de Vesterbro. Durante el día, plazas de aparcamiento fueron utilizados como áreas de servicio al aire libre, para las actividades de exhibición de la tienda, asientos y aparcamiento de bicicletas. Las entrevistas con los residentes y usuarios de la zona revelaron que las soluciones flexibles deben reflejar las necesidades específicas y el ritmo de una localidad en un período de 24 horas. También demostraron que es importante involucrar a los usuarios locales en los planes de adaptación y que el marcado de espacios flexibles debe ser lógica y fácilmente comprensible. Hubo cierto escepticismo en relación con los planes del club coche, pero un creciente segmento fue positivo si eso significa más y mejor vida de la ciudad en la calle.

BENEFICIOS

El uso flexible del espacio de aparcamiento puede beneficiar A Copenhague por:

- Utilizar el limitado espacio disponible en las zonas urbanas densamente pobladas con elegancia y creando más espacio para las actividades en beneficio de la vida de la ciudad en general.
- Dar a los ciudadanos la propiedad de los espacios urbanos mediante su participación en la planificación y el uso de las áreas de aparcamiento flexibles.
- Ofrecer mejores condiciones a los regímenes del club del coche, reduciendo así el número de coches en la ciudad y, en última instancia, también el ruido y la contaminación. Temprano una mañana de lunes, un hombre del barrio de Vesterbro se mete en su coche y se deja Saxogade para ir a trabajar en la localidad de Køge. No mucho después de esto, el local de Café Sonja trae mesas y sillas fuera en el aparcamiento, que ahora se transformó en un área que sirve al aire libre.

MEJOR FLUJO EN LA CONGESTIÓN DE CALLES EN LAS CARRETERAS DE COPENHAGUE

Existe una considerable congestión durante el período de la hora pico en las principales carreteras de Copenhague, donde se trata de un serio desafío para atender a los automovilistas, ciclistas y peatones al mismo tiempo. Esto da lugar a atascos de tráfico con los inevitables retrasos de tráfico, aumento de la contaminación atmosférica y acústica y la irritación considerable por parte de todos los usuarios de la carretera.

CITS (COPENHAGEN INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS)

CITS es un sistema para mapear la posición y la ruta de usuarios de la carretera en la ciudad. El concepto consiste en colocar una serie de puntos de acceso Wi-Fi a lo largo de las calles de Copenhague, detectando de forma anónima los teléfonos móviles de todos los usuarios de la carretera. Por triangulación de varios puntos de acceso Wi-Fi, es posible determinar la posición de los teléfonos móviles de los usuarios de la carretera. Los datos recogidos serán entonces despersonalizada y enviado de forma continua a través de la red de alumbrado público a un centro de tránsito en el que se analizaron los datos de acuerdo a la posición, la ruta y la velocidad y, de esta manera, se identifican los distintos tipos de usuarios de la vía: peatones, ciclistas , y los automovilistas. De esta manera, los patrones de movilidad de los usuarios de la carretera en las calles urbanas pueden ser mapeados permitiendo la movilidad, la seguridad y las emisiones de CO2 globales para ser optimizados. Este tipo de información detallada y continua sobre los flujos de tráfico allanará el camino para la gestión del tráfico más eficiente.

PRUEBA PILOTO

La tecnología CITS implica la triangulación de las unidades móviles que puso a prueba en la Universidad Técnica de Dinamarca. Una interfaz para mostrar los datos de tráfico se puso a prueba en los talleres. La prueba mostró que CITS es capaz de trazar la posición y rutas de usuarios de la vía y que la visualización de éstos puede dar información valiosa sobre el comportamiento del usuario carretera.

BENEFICIOS

La información actual sobre los movimientos de usuarios de la carretera permitirá a la ciudad de Copenhague:

- Acortar los tiempos de respuesta en descubrir y reaccionar a los eventos de tráfico específicos.
- Semáforos que permiten optimizar el tráfico fluya rápida, fácil y segura. Adaptar los semáforos para ajustar dinámicamente a diversas situaciones como la hora del día o de eventos que involucran a grandes multitudes de personas.
- Ajustar las ondas verdes a las situaciones específicas de tráfico, tales como la reducción de la velocidad de la onda verde en condiciones de hielo. Un atasco de tráfico durante la hora pico en el interior de Copenhague, donde los peatones, ciclistas y automovilistas están conduciendo para salir de la ciudad resulta en demoras para todos. Sin embargo, las luces de la zona de tráfico que normalmente cambian de acuerdo con un patrón predeterminado, ahora se adaptan a la situación específica y cambian para asegurar el flujo de tráfico

más conveniente. La mermelada se disuelve y el tráfico se mueve de nuevo

MUESTRA DEL RUIDO DEL TRANSITO DE LA CALLE Y LA CONTAMINACIÓN DE TRÁFICO

Varios tramos de carretera en Copenhague superen los valores umbral de contaminación de la UE. Al mismo tiempo, el ruido del tráfico es un problema en muchos lugares por toda la ciudad. Esto crea problemas de salud para los ciudadanos.

CPH: SENSOR DE REGISTRO DE TRAFICO Y CONDICIONES AMBIENTALES

Es una caja de sensor de detección de usuarios de la carretera, así como el clima y las condiciones ambientales. El cuadro puede ser instalado a lo largo de calles de la ciudad y se reunirán de forma continua la información y enviarla a un centro de tráfico. Dado que el cuadro está basado en código abierto y hardware abierto, es una solución relativamente barata. El cuadro puede detectar automovilistas, ciclistas y peatones de forma anónima a través de un sensor visual infrarrojo, y también cuenta con sensores de medición de temperatura, humedad del aire, intensidad de la luz, el ruido y la contaminación.

PRUEBA PILOTO CPH:

El sistema de sensores fue probado en Østerbrogade y al Aalborg Universidad de Copenhague en abril de 2014. Los resultados de las pruebas mostraron que la caja es capaz de detectar los diferentes tipos de usuarios de la carretera por medio de análisis de imagen y que el gran número de sensores en la obra caja de acuerdo a lo programado.

BENEFICIOS

La información actual sobre el tráfico, el clima y las condiciones ambientales le dará a la ciudad de Copenhague la oportunidad de:

- Optimizar los semáforos para que el tráfico fluya rápida, fácil y segura.
- Intervenir activamente con gestión inteligente del tráfico, si los niveles de contaminación o de ruido superan los niveles aceptables.
- Ajustar las ondas verdes a las condiciones climáticas por ejemplo, la reducción de velocidad en condiciones de hielo o la reducción de la velocidad de las ondas verdes para los ciclistas cuando hay un viento de frente. Una caja del sensor está instalada en un poste de luz en una calle principal de Copenhague. El cuadro hace grabaciones e informes detallados sobre la situación del tráfico, las temperaturas, la humedad del aire, intensidad de luz, niveles de ruido y contaminantes transportados por el aire. Esta información continua se utiliza para ajustar el flujo de tráfico: las ondas verdes están adaptadas a las condiciones climáticas por ejemplo, la reducción de la velocidad en el hielo en

la calzada o cuando hay un viento en contra para los ciclistas. O quizás recurriendo a la gestión inteligente del tráfico en caso de niveles excesivos de ruido o los contaminantes del aire.

AUTOBUSES EN TIEMPO

Los autobuses se mueven lentamente en la hora PICO por lo que es menos atractivo para utilizar el transporte público. En varias rutas, el servicio de autobuses de alta frecuencia tiende a resultar en grupos en lugar de asegurar un reparto equilibrado.

SOLUCIONES DE PRIORIZACION INTELIGENTE DE AUTOBUSES

Se dan prioridad a Autobuses en los semáforos y se les da una ranura de luz verde extendida si se retrasan o total. Esto se hace mediante el aumento del intercambio de datos entre las señales de tráfico y los autobuses Movia. El sistema se basa en el sistema de priorización de autobús existente donde todos los autobuses tienen la misma prioridad en los semáforos. El nuevo sistema se graduará prioridades basado en diferentes factores, incluyendo retardo, el número de pasajeros, el tipo de ruta de autobús, la ubicación específica en la ciudad o la hora del día.

PRUEBA PILOTO

La priorización inteligente de los autobuses se puso a prueba a través de una simulación de Østerbrogade en abril de 2014. La simulación indicó que los retrasos podrían reducirse hasta en un 25% si la ranura de luz verde se prolongó por entre 8 y 30 segundos. Por otra parte, la simulación mostró que el número de autobuses con retraso podría reducirse hasta en un 45% si el tráfico se acumula en el cruce de carreteras ha desaparecido antes de la llegada del autobús. Había indicios de que es posible dar prioridad a los autobuses sin impactar negativamente en otros autobuses que viajan a través de la ruta de autobús priorizado.

BENEFICIOS

Soluciones de priorización inteligente de autobuses se beneficiarán en Copenhague por:

- La mejora de la movilidad para los autobuses que resulta en un menor número de autobuses demorados.
- Reducir el número de autobuses que llegan en grupos. Un autobús lleno llega frente a la estación central de trenes de Copenhague, en el viernes por la tarde hora punta. Está corriendo detrás horario. Delante y detrás, hay otros autobuses de carga y la descarga de pasajeros. El autobús lleno avanza hacia los semáforos que cambian inmediatamente para permitir verde el autobús

para continuar y ponerse al día.

PLAN DE VIAJES INTELIGENTE

La planificación del viaje de hoy no está pensada para los viajes que combinan coches con bicicletas y transporte público. Información sobre la situación actual del tráfico es escasa, incluida la información sobre los retrasos y la congestión y esto hace que la planificación del viaje incómodo. Además, los funcionarios de tránsito en Copenhague no tienen sistemas disponibles que les permite ver y gestionar el tráfico desglosado en los diferentes modos de transporte ni en relación con las consideraciones ambientales.

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE TRÁFICO

La idea detrás del sistema de información de tráfico es la integración de la información de tráfico y la planificación del viaje incluyendo todos los modos de transporte. Para usuarios de la vía de Copenhague, será posible utilizar el sistema para planificar los viajes que incluyen todos los modos de transporte público, coches, bicicletas, y los esquemas del club coche. Usted tendrá la información en tiempo real sobre el tráfico, la congestión, y plazas de aparcamiento disponibles. El sistema de información de tráfico se puede utilizar a través de una aplicación móvil y desde los terminales de estacionamiento interactivos. El sistema también servirá para ayudar a los funcionarios municipales de tráfico en la obtención de una visión de conjunto y la gestión del tráfico para que fluya de forma rápida y segura. El sistema se basará en las soluciones existentes y extraer información directamente de todos los proveedores y las autoridades pertinentes de tráfico.

PRUEBA PILOTO

El concepto de un nuevo y completo sistema de información de tráfico se puso a prueba en dos grupos de discusión formados por usuarios de la vía de Copenhague, así como en un taller organizado por la ciudad de los funcionarios de tránsito Copenhague en marzo de 2014. Los resultados de las pruebas indicaron una actitud positiva al concepto. Participantes en la prueba creían que el concepto resultaría valioso si su viaje incluye varios cambios o si quieres evitar las colas de automóviles. Hicieron hincapié en que el sistema debe ser flexible y adaptable a las necesidades de cada usuario, y que la información más esencial es el tiempo, el precio, en tiempo real, y la información sobre el estacionamiento.

BENEFICIOS

El sistema de información sobre el tráfico de Copenhague ofrecerá la oportunidad de:

- Viajes del plan que implica por ejemplo, coches y transporte público.
- Encontrar toda la información de tráfico utilizando el mismo portal.
- Obtener información en tiempo real sobre la congestión de las carreteras y plazas de aparcamiento disponibles.

Un sistema de gestión del tráfico permitirá a la Ciudad de Copenhague para:

- Ajustar y gestionar el tráfico de forma más inteligente y responder a la congestión y la contaminación.
- Encabezar un sistema de información sobre el tráfico colectivo que, hasta el momento, es poco probable que se ajustará por el sector privado. Un joven estudiante en Copenhague se despierta con un sobresalto y descubre que ella es tarde. Rápidamente ella agarra su teléfono móvil e introduce su ruta y las prioridades. En muy poco tiempo, un itinerario está listo para ella con información de tráfico integral y la planificación del viaje incluyendo todos los tipos de transporte que muestran la forma más rápida de llegar a la Universidad de Roskilde, donde su conferencia comienza en una hora y media.

PARQUE LIBERADO EN 20 MINUTOS, TRAFICO A LA ESPERA DE EVENTOS

Cuando los eventos más importantes, incluyendo los partidos de fútbol tienen lugar en el Estadio Nacional Parken, el flujo de tráfico es incapaz de seguir el ritmo que resulta en retenciones de tráfico. Del mismo modo, grandes multitudes de peatones no pueden hacerlo a través mientras que las luces son de color verde y empezar a cruzar en las luces rojas.

FRAMEWORK DISPARADOR: GESTIÓN DEL TRÁFICO EN GRANDES EVENTOS

Framework disparador es un sistema, que a través de diversas fuentes de datos detecta la evolución del tráfico desde el principio y es capaz de evaluar si las señales de tráfico tienen que adaptarse a una situación particular. El sistema funciona mediante sensores que detectan la calle los teléfonos móviles de los usuarios de la carretera a través de Wi-Fi y Bluetooth. Adicionalmente, el sistema reúne información sobre los eventos planificados, obras viales, etc. Basado en diversos tipos de información, el sistema determinará si la situación lo requiere señales de tráfico que ajustarse a la situación específica.

PILOTO DE PRUEBA

El Framework disparador fue probado en las calles alrededor de Parken en abril de 2014 en relación con dos partidos de fútbol y un concierto. 18 sensores Bluetooth / Wi-Fi se establecieron alrededor de Parken, principalmente en Øster Allé y Østerbrogade, para detectar llegando al público en o salir de Parken. El sistema detecta el aumento de usuarios de la carretera en su camino hacia o desde Parken comunicar a las señales de tráfico que se extendían estaban obligados ranuras de la luz verde para el tráfico en movimiento hacia o desde Parken. Resultados de las pruebas mostraron que el período de la congestión que surge inmediatamente después de un partido en el Parken se desplomó a partir de aprox. 40 a 20 minutos. La prueba también demostró que es posible llevar a cabo la gestión inteligente del tráfico basado en un análisis inicial de la situación actual del tráfico.

BENEFICIOS

Gestión inteligente del tráfico de ambos eventos planificados y espontáneos:

- Garantizar el flujo de tráfico y la movilidad en una ciudad vibrante, con un creciente número de eventos dentro de la cultura, el deporte, la política, etc.
- Dar una mayor prioridad a los grandes grupos de peatones. La parte superior partido entre Brøndby y FCK acaba de terminar. 40.000 aficionados al fútbol pululan a las calles circundantes. Coches, peatones y ciclistas se acercan a las señales de tráfico, que se ajustan a las multitudes abarrotaban manteniendo luz verde asegurar que el área se limpia lo antes posible.

CICLISTAS QUE MONTAN EN LA ONDA VERDE, MÁS PERSONAS DEBEN USAR SUS BICIS

En Copenhague, el 41% usa sus bicicletas al trabajo o la educación. La ciudad de Copenhague le gustaría aumentar esta cifra a 50%. SUS soluciones pueden hacer en bicicleta una propuesta atractiva y sus soluciones pueden conocer a algunos de los desafíos planteados por las cuestiones de movilidad y seguridad generados por un gran número de ciclistas.

SISTEMA DE INFORMACIÓN CICLISTA

Señales dinámicas para ciclistas y una aplicación móvil le dará ciclistas información de tráfico relevante. Las señales para ciclista podrían instalarse a lo largo de las pistas para bicicletas ocupadas y mostrar toda la información pertinente en una pantalla. La aplicación móvil se puede utilizar a través de un teléfono móvil montado en el manillar, o puede consultar la aplicación móvil antes de salir de casa. Las señales para ciclistas dinámicas serán capaz de mostrar información sobre, por ejemplo la

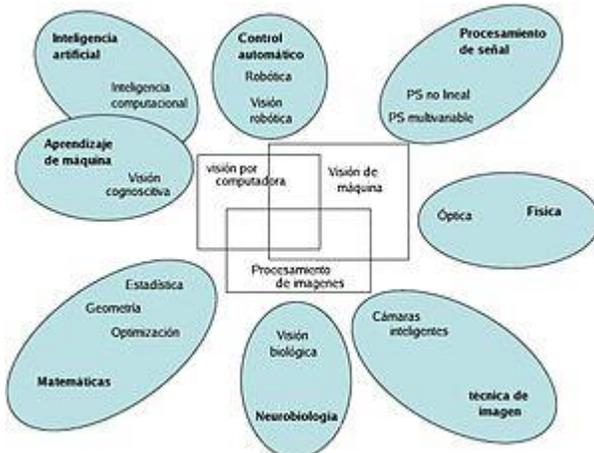
congestión, los accidentes, y obras por delante y sugerir rutas de ciclismo alternativas que son menos congestionada, más verdes, o las rutas que han sido despejadas de nieve. También será capaz de mostrar la velocidad necesaria con el fin de beneficiarse de la onda verde, complementada por la velocidad real del ciclista. La señal para ciclistas también será capaz de mostrar las previsiones meteorológicas y fomentar hábitos de ciclismo considerados.

PRUEBA PILOTO

El concepto fue probado por entrevistar a los ciclistas en la calle y mostrar imágenes del sistema en una tableta. Por otra parte, un prototipo del signo ciclista dinámica ha sido evaluada en los talleres donde Ciudad de Copenhague planificadores ciclistas participaron junto con la Federación de Ciclistas Daneses. Resultados de las pruebas mostraron que los ciclistas prefieren ciclo aún más si eso significa menos congestión o una ruta más agradable. Los ciclistas fueron en general satisfecho con el comportamiento de los compañeros ciclistas y acogieron con satisfacción la función de corrección del signo ciclista. El hecho de que el signo conduciría a una mayor prioridad a la información para los ciclistas fue recibido.

2.3 Computer visión

La visión artificial, también conocida como visión por computador (del inglés computer vision) o visión técnica, es un subcampo de la inteligencia artificial. El propósito de la visión artificial es programar un computador para que "entienda" una escena o las características de una imagen.



Esquema de las relaciones entre la visión por computadora y otras áreas afines.

Los objetivos típicos de la visión artificial incluyen:

La detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos objetos en imágenes (por ejemplo, caras humanas).

La evaluación de los resultados (por ejemplo, segmentación, registro).

Registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto, es decir, hacer concordar un mismo objeto en diversas imágenes.

Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.

Mapeo de una escena para generar un modelo tridimensional de la escena; este modelo podría ser usado por un robot para navegar por la escena.

Estimación de las posturas tridimensionales de humanos.

Búsqueda de imágenes digitales por su contenido.

Estos objetivos se consiguen por medio de reconocimiento de patrones, aprendizaje estadístico, geometría de proyección, procesamiento de imágenes, teoría de grafos y otros campos. La visión artificial cognitiva está muy relacionada con la psicología cognitiva y la computación biológica.

Visión artificial aplicada al sistema visual humano

Cuando la retina está dañada o no funciona bien, los fotorreceptores dejan de funcionar, pero eso no quiere decir que toda la estructura del sistema visual humano no pueda seguir funcionando. Por ello, algunos científicos están desarrollando microchips de silicio que puedan dotar de visión artificial a aquellas personas a quienes no les funcionan los fotorreceptores.

Como ya sabemos, la información captada por los fotorreceptores se transmite a las células ganglionales, donde se interpreta y se manda al cerebro a través del nervio óptico. Existen enfermedades que afectan a estas células como la retinosis pigmentaria o la DMAE, que dejan inoperativos los fotorreceptores pero no dañan las células ganglionales o el nervio óptico, con lo cual el problema no es que la información no puede llegar al cerebro, sino que no se puede captar. En estos casos se pueden desarrollar unos conos y bastones artificiales.

Los requisitos de los microchips para que cumplan la función de los fotorreceptores son:

Que sean lo suficientemente pequeños como para implantarlos en el ojo.

Que tengan una fuente de abastecimiento de energía continua.

Que no causen rechazo, es decir, que sean biocompatibles con los tejidos del ojo.

Uno de los micros que se ha desarrollado con éxito por el momento es un dispositivo de 2 mm de diámetro y tan delgado como un cabello humano. Contiene 3,500 células solares microscópicas que imitan a los bastones y los conos y convierten la luz en impulsos eléctricos. Se abastece de energía solar, con lo que se evitan cables y baterías.

Microscopía digital

Producción de la imagen digital en microscopía óptica

La digitalización de una imagen electrónica o de video capturada por un microscopio óptico permite obtener un incremento espectacular en las posibilidades de ampliar características, extraer información o modificar la imagen. En comparación con el mecanismo tradicional de captura de imágenes, la fotomicrografía en película, la digitalización de la imagen y el proceso de postadquisición/recuperación permiten una modificación reversible de la imagen como matriz ordenada de enteros fundamentalmente libre de ruido, más que una mera serie de variaciones análogas en color e intensidad. Esta sección trata sobre diversos temas de actualidad acerca de la adquisición y procesamiento de imágenes para microscopía óptica.

Propiedades básicas de las imágenes digitales

Las imágenes de señal continua se reproducen mediante dispositivos electrónicos analógicos que registran los datos de la imagen con precisión utilizando varios métodos, como una secuencia de fluctuaciones de la señal eléctrica o cambios en la naturaleza química de la emulsión de una película, que varían continuamente en los diferentes aspectos de la imagen. Para procesar o visualizar en el ordenador una señal continua o una imagen analógica, se debe convertir primero a un formato comprensible para el ordenador o formato digital. Este proceso se aplica a todas las imágenes, independientemente de su origen, de su complejidad y de si son en blanco y

negro (escala de grises) o a todo color. Una imagen digital se compone de una matriz rectangular (o cuadrada) de píxeles que representan una serie de valores de intensidad ordenados en un sistema de coordenadas (x,y).

Detectores de imagen electrónicos

La gama de métodos de detección de luz y la amplia variedad de dispositivos de imagen que están disponibles actualmente para el microscopista hacen que su selección sea difícil y a menudo confusa. Con este documento se pretende ofrecer ayuda para la comprensión de conceptos básicos sobre la detección de luz y proporcionar una guía para la selección del detector electrónico adecuado (CCD o sistema de videocámara) con aplicaciones específicas de microscopía óptica.

Fundamentos de la producción de imágenes en vídeo

Las imágenes ópticas producidas en el microscopio pueden ser capturadas utilizando ya sea técnicas de película tradicionales, digitalmente con detectores electrónicos como un chargecoupled device (CCD) o bien con una cámara de tipo tubo. Las cámaras son a menudo el recurso más apropiado cuando se deben grabar sucesos dinámicos en tiempo real.

Introducción a los sensores de imagen CMOS

Los sensores de imagen CMOS se han diseñado con la capacidad para integrar un número de funciones de procesamiento y control directamente en el circuito integrado del sensor, lo que se extiende más allá de la tarea fundamental de recopilación de fotones. Estos nuevos aspectos incluyen generalmente lógica temporal, control de exposición, conversión de analógico a digital, obturación, balance de blancos, ajuste del aumento y algoritmos de procesamiento inicial de la imagen. Se están introduciendo sensores de imagen CMOS económicos en el campo de la microscopía óptica en instrumentos para fines educativos que combinan una calidad óptica aceptable con paquetes de software de control e imagen fáciles de usar.

Conceptos básicos sobre procesamiento digital de la imagen

El procesamiento digital de la imagen permite una modificación reversible prácticamente libre de ruido en forma de una matriz de enteros, en vez de las clásicas manipulaciones en el cuarto oscuro o filtración de voltajes dependientes del tiempo necesarios para las imágenes analógicas y señales de video. Incluso aunque muchos algoritmos de procesamiento de imágenes son extremadamente potentes, el usuario medio a menudo aplica operaciones a imágenes digitales sin tener en cuenta los principios subyacentes tras dichas manipulaciones. Las imágenes que resultan de una manipulación descuidada están a menudo distorsionadas en comparación con las que podrían producirse si la potencia y versatilidad del software de procesamiento digital se utilizaran correctamente.

Estrategias recomendadas para el procesamiento de imágenes digitales

Dependiendo de las condiciones de iluminación, la integridad de la muestra y los métodos de preparación, las imágenes capturadas con el microscopio óptico pueden requerir una cantidad considerable de rehabilitación/reinserción/renovación para conseguir un equilibrio entre precisión científica y composición estética. Las imágenes digitales que se obtienen mediante un CCD (charge-coupled device) o un CMOS (complementary metal oxide semiconductor) a menudo presentan señales de ruido pobres, iluminación irregular, impurezas de enfoque, deslumbramiento, cambios en los colores y otros problemas que distorsionan la calidad global de la imagen.

Deconvolución en microscopía óptica

La deconvolución es una técnica de procesamiento de imagen computacionalmente intensiva/reforzadora que se está utilizando cada vez más para mejorar el contraste y la resolución de las imágenes digitales capturadas con el microscopio. Se basa en un juego de métodos diseñados para eliminar las imprecisiones presentes en las imágenes producidas por la abertura limitada del objetivo. Prácticamente cualquier imagen obtenida con un microscopio digital fluorescente se puede deconvolver y se están desarrollando varias aplicaciones nuevas que utilizan técnicas de deconvolución para imágenes transmitidas de luz compuestas mediante varias estrategias de procesamiento de contraste. Uno de los campos que más puede beneficiarse de la deconvolución es el de montajes en tres dimensiones a partir de secciones ópticas.

Software dedicado

OpenCV: Es una biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel. Disponible en Linux, Mac, Windows, IOs y Android.

Tiene estructuras básicas de datos para operaciones con matrices y procesamiento de imágenes.

Permite visualizar datos muy sencillamente y extraer información de imágenes y vídeos.

Tiene funciones de captura y presentación de imágenes.

2.4 Open CV

OpenCV es una biblioteca libre de visión artificial originalmente desarrollada por Intel. Desde que apareció su primera versión alfa en el mes de enero de 1999, se ha utilizado en infinidad de aplicaciones. Desde sistemas de seguridad con detección de movimiento, hasta aplicativos de control de procesos donde se requiere reconocimiento de objetos. Esto se debe a que su publicación se da bajo licencia BSD, que permite que sea usada libremente para propósitos comerciales y de investigación con las condiciones en ella expresadas.

Open CV es multiplataforma, existiendo versiones para GNU/Linux, Mac OS X y Windows. Contiene más de 500 funciones que abarcan una gran gama de áreas en el proceso de visión, como reconocimiento de objetos (reconocimiento facial),

calibración de cámaras, visión estérea y visión robótica.

El proyecto pretende proporcionar un entorno de desarrollo fácil de utilizar y altamente eficiente. Esto se ha logrado, realizando su programación en código C y C++ optimizados, aprovechando además las capacidades que proveen los procesadores multi núcleo. OpenCV puede además utilizar el sistema de primitivas de rendimiento integradas de Intel, un conjunto de rutinas de bajo nivel específicas para procesadores Intel (IPP).

Aplicaciones conocidas

OpenCV ha sido usada en el sistema de visión del vehículo no tripulado Stanley de la Universidad de Stanford, el ganador en el año 2005 del Gran desafío DARPA.

OpenCV se usa en sistemas de vigilancia de vídeo.

OpenCV es la clave en el programa Swistrack, una herramienta de seguimiento distribuida.

OpenCV tiene una estructura modular, lo que significa que el paquete incluye varias bibliotecas compartidas o estáticas. Los siguientes módulos están disponibles:

core - un módulo compacto que define las estructuras de datos básicos, incluyendo los densos Mat matriz multi-dimensional y básicas funciones utilizadas por todos los demás módulos.

imgproc - un módulo de procesamiento de imagen que incluye la imagen no lineal y filtrado lineal, transformaciones de imagen geométricos (cambiar el tamaño, afín y la perspectiva de deformación, Reasignación genérico basado en tablas), la conversión de espacio de color, histogramas, y así sucesivamente.

video - un módulo de análisis de vídeo que incluye la estimación de movimiento, sustracción de fondo, y los algoritmos de seguimiento de objetos.

calib3d - algoritmos básicos de múltiples vistas geometría, la calibración individual y equipo de cámara de cámara, objeto plantean estimación, algoritmos de correspondencia estéreo y elementos de reconstrucción 3D.

features2d - detectores de rasgos sobresalientes, descriptores y comparadores descriptores.

objdetect - detección de objetos e instancias de las clases predefinidas (por ejemplo, caras, ojos, las tazas, las personas, vehículos, etc.).

highgui - una interfaz fácil de usar para la captura de vídeo, imagen y codecs de vídeo, así como capacidades simples de interfaz de usuario.

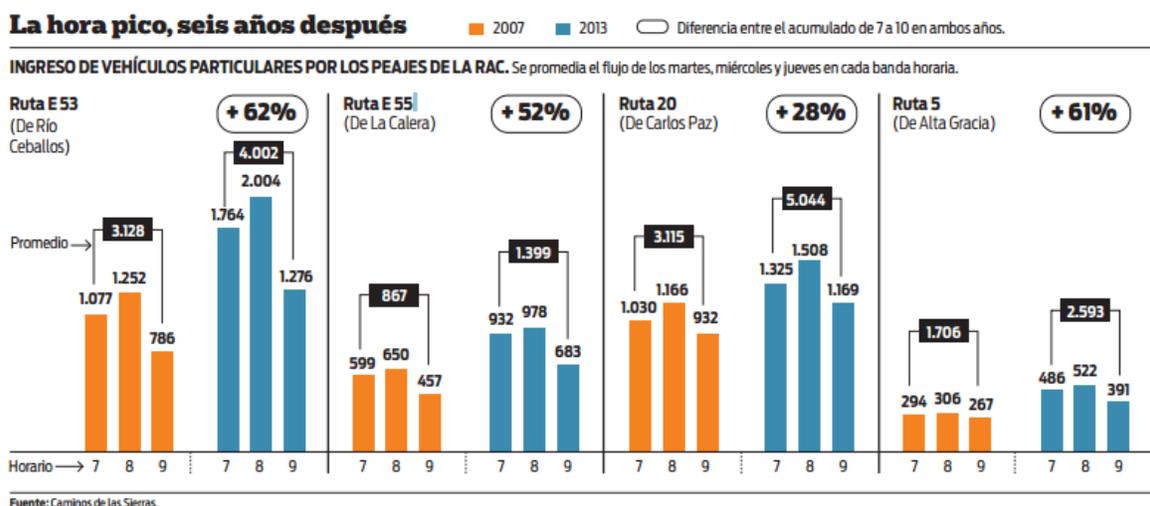
gpu - algoritmos acelerados por GPU de diferentes módulos OpenCV.

... Algunos otros módulos auxiliares, tales como Flann y Google envoltorios de prueba, enlaces Python y otros.

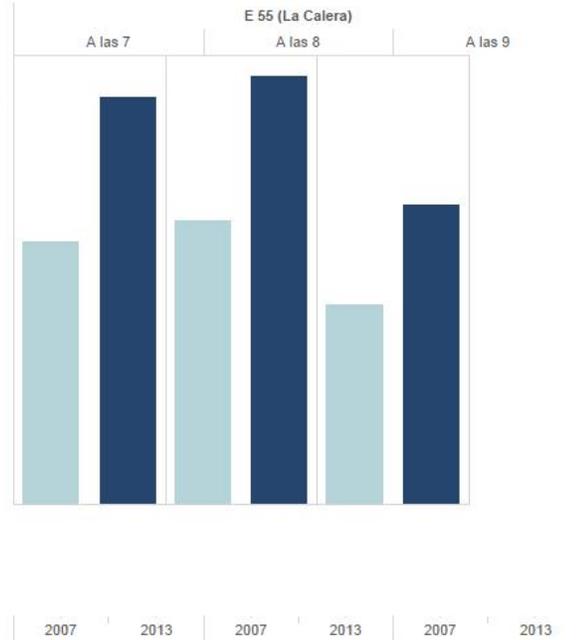
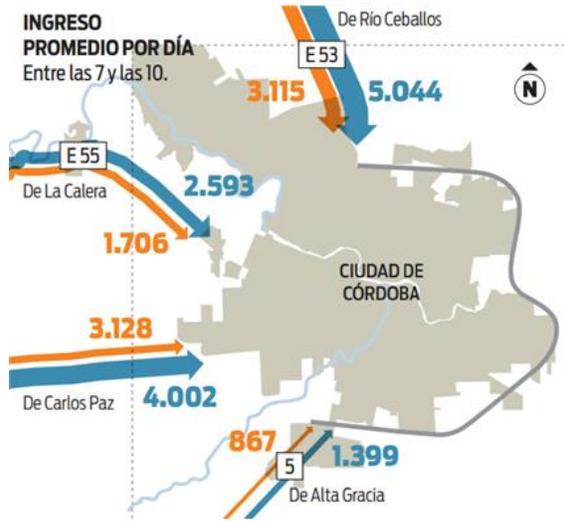
3.0 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Una de las principales problemáticas del tránsito vehicular son las congestiones, la congestión del tráfico se produce cuando el volumen de tráfico o de la distribución normal del transporte genera una demanda de espacio mayor que el disponible en las carreteras. Hay una serie de circunstancias específicas que causan o agravan la congestión, la mayoría de ellos reducen la capacidad de una carretera en un punto determinado o durante un determinado periodo. En muchas ciudades altamente pobladas la congestión vehicular es recurrente, y se atribuye a la gran demanda del tráfico, o bien entre otras causas, se atribuye a incidentes de tránsito, obras viales y eventos climáticos. La velocidad y el flujo también pueden afectar la capacidad de la red, aunque la relación es compleja. Es difícil predecir en qué condiciones un "congestionamiento" sucede, pues puede ocurrir casi instantáneamente y en diversas condiciones. Se ha constatado que los incidentes (tales como accidentes o incluso un solo coche frenado en un buen flujo) pueden causar repercusiones (un fallo en cascada), que luego se difunde y crean un atasco de tráfico sostenido, cuando, de otro modo, el flujo normal podría haber continuado a lo largo del tiempo.

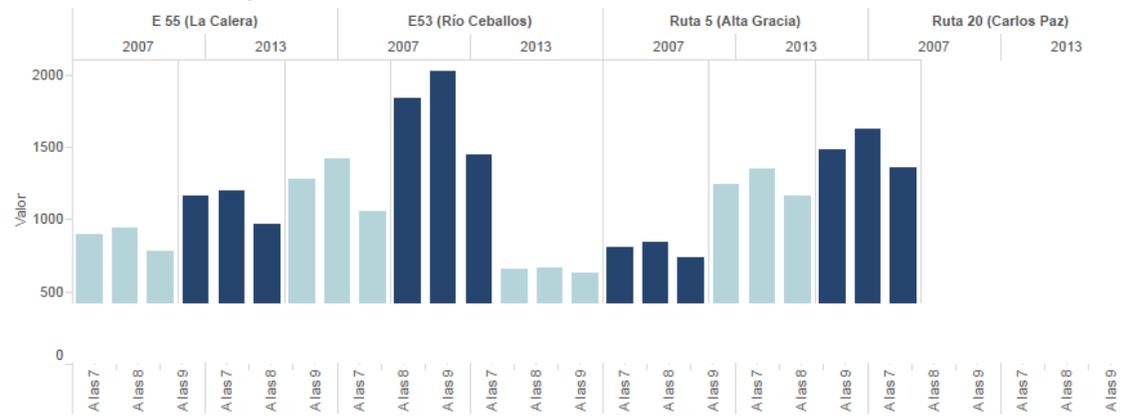
Diariamente miles de personas de personas concurren a la capital de Córdoba para asistir a sus empleos, en los últimos años gran parte de la fuerza trabajadora se ha radicado en ciudades aledañas a la Ciudad de Córdoba debido a, entre otros factores, la diferencia en el costo de adquisición de tierras¹. De acuerdo a datos estadísticos provisto por estaciones de peaje se ha incrementado en un 71% el tránsito en las redes de acceso a Córdoba en los últimos 10 años².



1 <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/en-seis-anos-el-transito-desde-el-gran-cordoba-crecio-130>
 2 <http://www.lavoz.com.ar/politica/en-10-anos-subio-71-el-transito-en-la-rac>



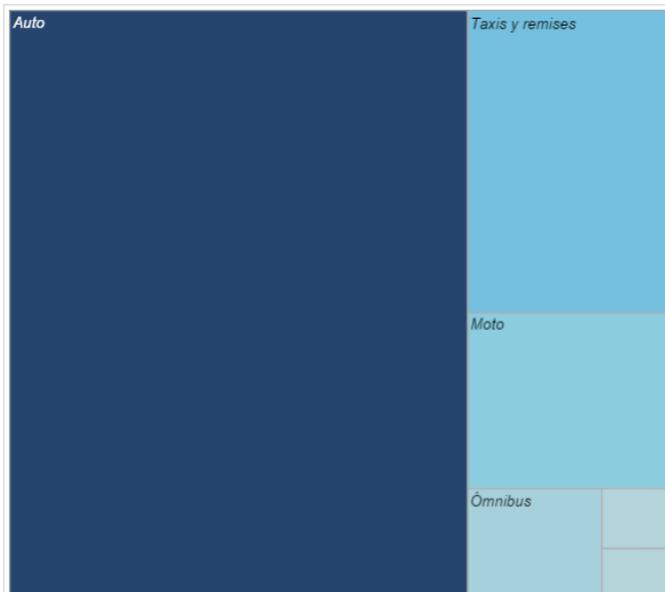
Todas las rutas en horas pico



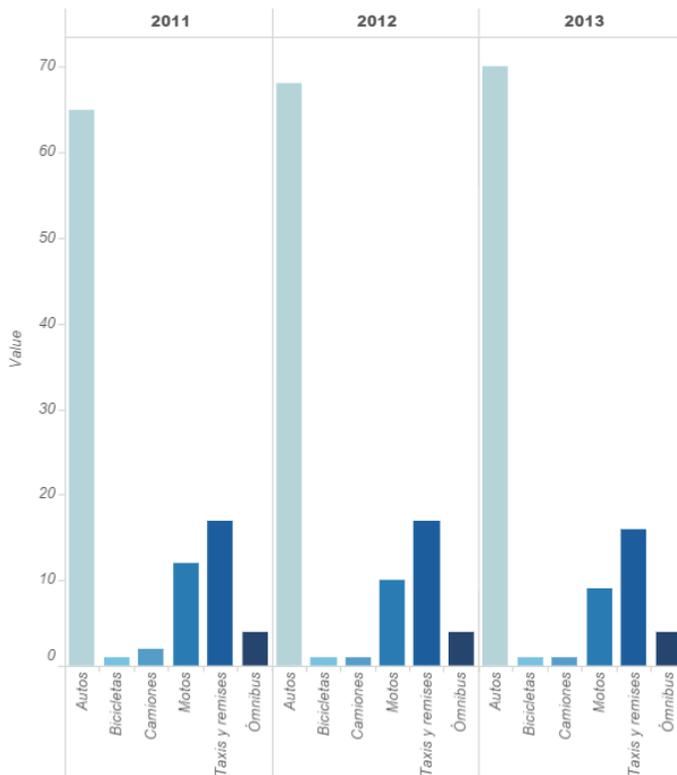
Este factor sumado al tempestuoso crecimiento del parque automotor³ y a las deficiencias en el sistema de transporte público ha colapsado la actual infraestructura de rutas y accesos a la Capital, así como también el tránsito céntrico⁴. De acuerdo a indicadores 2013 que publicó la Red Ciudadana Nuestra Córdoba, con base en un relevamiento realizado en 20 puntos diferentes de la Capital, en día hábil y en horario pico el 95% del tránsito está compuesto por vehículos individuales (autos, remises, taxis y motos), a su vez los indicadores muestran que los automóviles particulares representan un 70 por ciento del tránsito

3 <http://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/vehiculos-individuales-copan-el-95-del-transito-y-otros-datos-de-un-problema-serio>

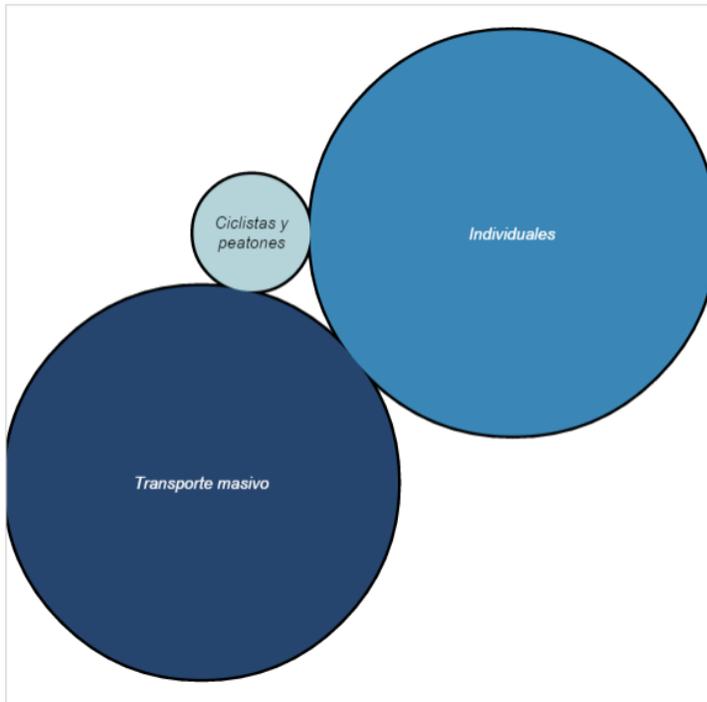
4 <http://www.lavoz.com.ar/cordoba-ciudad/el-transito-centrico-esta-cada-vez-mas-complicado>



El tránsito vehicular en los últimos años



Además, los resultados arrojan que el 47 por ciento de los viajes se realiza en el transporte urbano de pasajeros, mientras que los medios individuales (autos, taxis, remises y motos) son el 49 por ciento. Finalmente, los viajes en bicicleta y caminando apenas llegan al cuatro por ciento.



Esta problemática no afecta únicamente a la ciudad de Córdoba sino que es un mal común en todas las grandes ciudades alrededor del planeta.

En muchas ciudades altamente pobladas la congestión vehicular es recurrente, y se atribuye a la gran demanda del tráfico, la mayoría del resto se atribuye a incidentes de tránsito, obras viales y eventos climáticos. La velocidad y el flujo también pueden afectar la capacidad de la red, aunque la relación es compleja. Es difícil predecir en qué condiciones un "atasco" sucede, pues puede ocurrir repentinamente. Se ha constatado que los incidentes (tales como accidentes o incluso un solo coche frenado en gran medida en un buen flujo anteriormente) pueden causar repercusiones (un fallo en cascada), que luego se difunde y crear un atasco de tráfico sostenido.

Los congestionamientos en rutas además de la evidente pérdida de tiempo para alcanzar un destino acarrear otros impactos negativos:

3.1 Salud y Medio Ambiente:

De acuerdo a la investigadores de Centro para el análisis de riegos en Harvard, congestiones en las 83 mayores áreas urbanas de Estados Unidos causaron más de 2200 muertes prematuras en 2010 y le costaron al estado US\$ 18 billones⁵.

El stress y la frustración en los conductores causados por embotellamientos son factores causantes de la afección conocida como ira de carretera, la cual entre otros factores negativos, afecta la salud de las personas que lo padecen.

5

<http://ibtta.org/sites/default/files/The%20Public%20Health%20Costs%20of%20Traffic%20Congestion.pdf>

3.1.1. Los contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

i) los que tienen efectos locales y regionales, y ii) los que tienen efectos globales o planetarios.

1. Contaminantes atmosféricos de efecto local y regional

Los principales contaminantes atmosféricos son el material particulado, el dióxido de azufre, el monóxido de carbono, el ozono, los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. Además, muchos metales pesados se encuentran presentes en el material particulado en la atmósfera.

Se denominan contaminantes primarios aquéllos que son introducidos en la atmósfera directamente a raíz de los fenómenos que los causan; por su parte, se llaman contaminantes secundarios los que se forman en la atmósfera a partir de la presencia de contaminantes primarios.

El material particulado (MP) presente en la atmósfera es una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas, desde sal de mar y partículas de suelo hasta partículas de hollín producido por el uso de combustibles fósiles. El material particulado proveniente de la combustión se puede emitir directamente, en forma de carbono elemental y orgánico, o bien formarse en la atmósfera a partir de otros contaminantes. También se puede emitir material particulado al resuspender el polvo presente en las calles. El material particulado total presente en la atmósfera recibe el nombre de partículas totales en suspensión (PTS). Las partículas más finas se denominan de acuerdo con su tamaño; por ejemplo, PM10 designa a todas las partículas con diámetro inferior a 10 micrones¹, y PM2.5, las inferiores a 2.5 micrones.

El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso (SO₂) es un gas incoloro, que se produce debido a la presencia de azufre en el combustible, principalmente diesel.

Se oxida posteriormente en la atmósfera, produciendo sulfatos, que forman parte del material particulado. El SO₂ en presencia de material particulado forma una mezcla letal, que fue responsable de episodios como el de Londres en 1952, en que hubo miles de fallecimientos.

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro, que se produce debido a la combustión incompleta. El CO impide el transporte de oxígeno en la sangre, y en concentraciones altas produce la muerte.

El ozono, un oxidante, es el principal de los contaminantes atmosféricos que forman el llamado smog fotoquímico, que se produce en la atmósfera por reacciones químicas en presencia de radiación ultravioleta. Los aerosoles que se forman como parte del mecanismo fotoquímico causan una reducción de la visibilidad, dándole a la atmósfera una apariencia café rojiza.

Con respecto a los óxidos de nitrógeno, los más relevantes son el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂). El NO₂ absorbe luz en el rango visible, lo que produce merma de la visibilidad. El NO₂ participa en la cadena de reacciones que conducen a la formación de smog fotoquímico.

Por último, muchos metales pesados pueden encontrarse presentes en la atmósfera. De ellos, el plomo es tal vez el más común, debido a su uso como aditivo en las gasolinas normales.

2. Impactos de los contaminantes atmosféricos de efecto local y regional

Los contaminantes atmosféricos pueden tener variados efectos. Los principales son la incidencia en la salud de la población, los perjuicios a la vegetación y ecosistemas, los daños a materiales, y la reducción de visibilidad. Debido a su mayor importancia, el análisis se centra en sus efectos en la salud humana, aunque no deben desconocerse los demás impactos.

No existen ya dudas de que la contaminación atmosférica produce efectos nocivos en la salud de la población. Los terribles episodios de mediados del siglo pasado en Londres, Inglaterra, Donora, Pennsylvania, en los Estados Unidos, y el valle del Mosa en Bélgica, han mostrado sin lugar a dudas que los niveles altos de contaminación pueden producir efectos dañinos, incluyendo un aumento de la mortalidad en la población expuesta. Numerosos estudios epidemiológicos realizados en los últimos 30 años han mostrado que los niveles actuales de contaminación también producen efectos negativos. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) realizan continuamente análisis y estudios para cuantificar el daño en la salud provocado por la contaminación atmosférica.

Los contaminantes producen una gran variedad de efectos en la salud, los principales de los cuales se muestran en el cuadro VI.1, que resume el conocimiento actual. Una excelente revisión del estado del arte con respecto a los impactos de los contaminantes atmosféricos en la salud se encuentra en Holgate y otros (1999).

Cuadro VI.1
**PROBLEMAS DE SALUD QUE AUMENTAN SU INCIDENCIA
POR EFECTO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS**

Efectos cuantificables	Efectos aún no cuantificables
Mortalidad (adultos mayores)	Inducción de asma
Mortalidad (infantil)	Efectos de desarrollo fetales/neonatales
Mortalidad neonatal	Mayor sensibilidad de vías respiratorias
Bronquitis - crónica y aguda	Enfermedades respiratorias crónicas (no bronquitis)
Ataques de asma	Cáncer
Admisiones hospitalarias (respiratorias y cardiovasculares)	Cáncer pulmonar
Visitas a sala de urgencia	Efectos conductuales
Enfermedades respiratorias (altas y bajas)	Desórdenes neurológicos
Síntomas respiratorios	Exacerbación de alergias
Días de ausentismo laboral	Alteración de mecanismos de defensa
Días con actividad restringida	Daño a células respiratorias
	Menor tiempo de desarrollo de angina
	Cambios morfológicos en el pulmón
	Arritmia cardiovascular

Fuente: Adaptado de U.S. Environmental Protection Agency (EPA), "The Benefits and Costs of the Clean Air Act, 1990 to 2010", Informe EPA-410-R-99-001, preparado para el Congreso de los Estados Unidos, 1999.

3. Los contaminantes globales y su efecto

Los principales contaminantes globales son los llamados gases efecto invernadero (GEI). Los más importantes son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso

(N₂O), y el ozono troposférico (O₃). Estos gases atrapan la radiación infrarroja reemitida al espacio por la Tierra, por lo que un incremento en su concentración produce el calentamiento de la atmósfera (PICC, 2001), con consecuencias en el clima, como es un aumento de fenómenos climáticos extremos. Estos gases tienen una larga vida y se distribuyen en toda la atmósfera, de modo que su efecto no depende del lugar en que se emitan.

3.1.2. Incidencia del tránsito en la contaminación

1. Tipos de contaminantes emitidos por los vehículos

Los vehículos motorizados son una de las principales fuentes de contaminantes atmosféricos en las grandes ciudades. Los vehículos motorizados propulsados por motores de combustión interna producen en general tres tipos de emisiones contaminantes: las emisiones por el tubo de escape, las evaporativas, y el levantamiento de polvo de las calles (véase el cuadro VI.2).

Cuadro VI.2
PRINCIPALES CONTAMINANTES EMITIDOS POR VEHÍCULOS MOTORIZADOS

Tipo de emisión	Contaminantes primarios emitidos a la atmósfera
Por tubo de escape	CO, NO _x , SO ₂ , HC, Pb (caso gasolinas con plomo), NH ₃ (especialmente vehículos de gasolina con convertidor catalítico), CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, MP (sólo vehículos diesel)
Evaporativas	HC (hidrocarburos)
Levantamiento de polvo de calles	Polvo de calles (material de la corteza terrestre, más contaminantes depositados en ella)

Fuente: Elaboración propia.

CO = Monóxido de carbono; NO_x = Óxidos nítricos; SO₂ = Dióxido de azufre;
 HC = Hidrocarburos; Pb = Plomo; NH₃ = Amoníaco; CO₂ = Dióxido de carbono;
 CH₄ = Metano; N₂O = Óxido nitroso; MP = Material particulado.

a) Emisiones por el tubo de escape

Las emisiones por el tubo de escape son producto de la combustión del combustible (sea este gasolina, diesel, u otro derivado del petróleo). Debido a que la combustión no es perfecta, se produce una serie de contaminantes, como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. Además, ciertos contaminantes presentes en el combustible, como el plomo y el azufre, se liberan al ambiente a través del proceso de combustión. Las emisiones por el tubo de escape dependen de las características del vehículo, como de su tecnología y tamaño del motor; por ejemplo, los vehículos más pesados tienden a tener emisiones unitarias (emisiones por cada kilómetro recorrido) mayores que los vehículos livianos. Las emisiones dependen también de la presencia de elementos de reducción de emisiones como convertidores catalíticos; del estado de mantención del vehículo; de

factores operacionales, como la velocidad de circulación, el nivel las aceleraciones y las características del combustible, como el contenido de azufre.

b) Emisiones evaporativas

Las emisiones evaporativas corresponden a la evaporación del combustible a la atmósfera. Se trata por lo tanto de hidrocarburos (HC). Su magnitud depende de las características del vehículo, factores operacionales como el número y frecuencia de detenciones, factores geográficos y meteorológicos, como la altura y temperatura ambiente, y principalmente, la presión de vapor del combustible.

c) Levantamiento de polvo

Las emisiones por levantamiento de polvo de las calles dependen del peso del vehículo y su velocidad de circulación, y también de características de la vía, como del flujo promedio de vehículos en ella; por cierto, dependen también de la cantidad de material sólido depositado en las calles, susceptible de ser levantado por los vehículos que circulan. A diferencia del material particulado emitido por el tubo de escape de vehículos diesel, el material particulado levantado por la circulación de los vehículos corresponde principalmente a material inerte de la corteza terrestre (polvo), que puede contener además otros contaminantes que se han depositado después de haber sido emitidos a la atmósfera. La composición de este material particulado dependerá entonces de la ciudad o lugar de que se trate.

d) Contaminantes secundarios

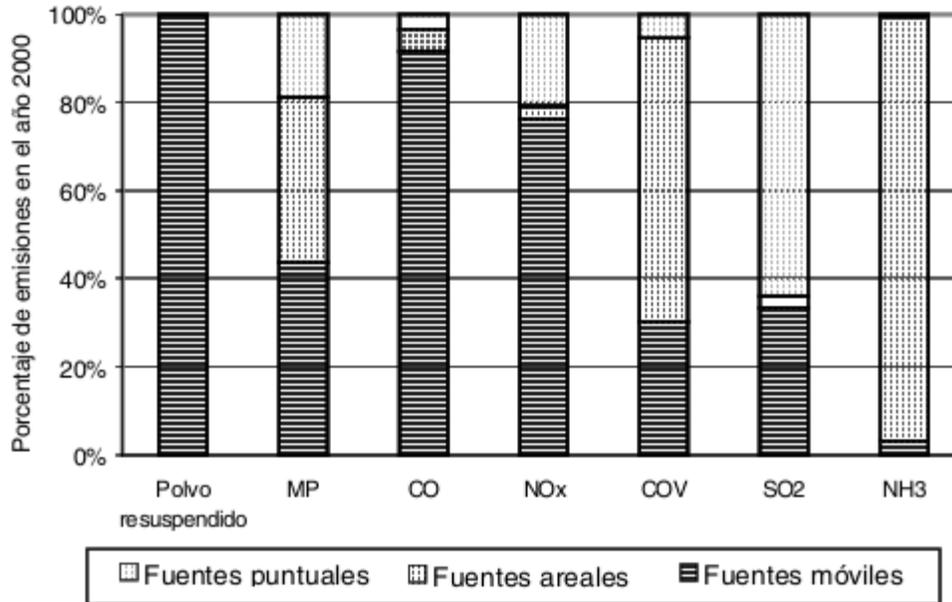
Además, es necesario resaltar que los contaminantes primarios que se emiten a la atmósfera pueden reaccionar en ella, formando los llamados contaminantes secundarios, de los cuales los más importantes son el material particulado secundario (que forma parte del material particulado fino o PM_{2.5}) y el ozono. En Santiago de Chile, se estima que más del 60% del material particulado fino corresponde a material secundario (CONAMA, 2001a).

2. Importancia relativa de los contaminantes generados por los vehículos

Los vehículos generan un importante aporte a las emisiones en una ciudad, que varía en función de múltiples factores locales. A título de ejemplo, el gráfico

VI.1 muestra la situación de Santiago de Chile el año 2000, que revela que las fuentes móviles constituyen un porcentaje importante de las emisiones de contaminantes primarios.

Gráfico VI.1
**INCIDENCIA DE LAS FUENTES MÓVILES EN LA EMISIÓN
 DE CONTAMINANTES EN LA REGIÓN METROPOLITANA
 DE SANTIAGO DE CHILE**



Fuente: Elaboración propia sobre la base del inventario de emisiones del Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), *Mejoramiento del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana*, Santiago de Chile, agosto de 2000.

MP = Material particulado; CO = Monóxido de carbono; NO_x = Óxidos de nitrógeno; COV = Compuestos orgánicos volátiles; SO₂ = Dióxido de azufre; NH₃ = Amoníaco.

Además, se estima que para el año 2000 las fuentes móviles eran responsables de aproximadamente el 48% del material particulado fino presente en la atmósfera, del que se estima que los buses aportan 21%, los camiones, 12%, y los vehículos livianos, 15% (CONAMA, 2001a).

3. Una manera de estimar la cantidad de contaminantes emitidos por los vehículos

En general, todos los vehículos de combustión interna producen emisiones contaminantes, producto de la combustión. Como se dijo antes, las emisiones dependen de las características del vehículo y su operación. Las emisiones que interesan aquí son las de toda la flota de vehículos que opera en una ciudad, que pueden ser descritas en forma simplificada por medio de la siguiente fórmula:

$$E^c = \sum_{m=1}^M [FE_m^c(V_m) \cdot DT_m]$$

Donde:

E_c son las emisiones totales de un cierto contaminante C (por ejemplo, NOx, CO, HC) m son los modos de transporte que operan en una ciudad (auto, bus, taxi, u otros) es el llamado "Factor de emisión" del contaminante C, correspondiente al modo (tipo de vehículo) m . En otras palabras, es la cantidad de contaminante C que emite cada tipo de vehículo al recorrer un kilómetro.

V_m es la velocidad de circulación de los vehículos del modo m .

DT_m es la distancia total recorrida por el modo m durante un cierto período.

Generalmente, los factores de emisión se miden en gramos por kilómetro recorrido, la distancia en kilómetros por día, y las emisiones totales se expresan en kilogramos o toneladas por día.

La fórmula indica que la cantidad total de cada contaminante se calcula como la suma de los contaminantes producidos por cada tipo de vehículo. Éstos, a su vez, se calculan como lo que cada tipo de vehículo emite por kilómetro, según la velocidad a que circula, multiplicado por la totalidad de los kilómetros recorridos.

3.1.3. Efectos sobre la contaminación al disminuir la congestión

Al tomarse medidas contra la congestión, el impacto primario es el cambio en las velocidades de desplazamiento de los distintos modos de transporte. Analizando la fórmula sobre emisiones y sus derivaciones en función de la variación de las velocidades, aparecen dos efectos simultáneos que inciden en las emisiones:

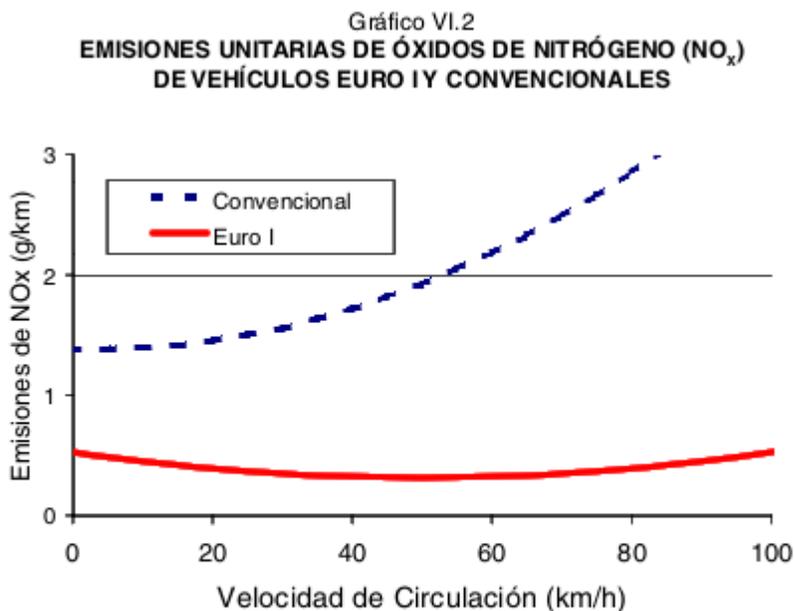
- Cambia el factor de emisión del modo, debido al cambio en su velocidad de operación, y
- Cambia la distancia recorrida por cada modo.

1. Cambio en los factores de emisión debido al cambio en la velocidad de circulación

El factor de emisión, o cantidad de contaminantes emitidos por kilómetro por cada tipo de vehículo, depende de la tecnología del vehículo y varía de acuerdo a la velocidad de circulación (gráficos VI.2 y VI.3). El factor de emisión depende también de la aceleración de los vehículos y ésta, a su vez, está relacionada con la velocidad y el ciclo de conducción.

La tecnología se refiere al tratamiento de las emisiones por parte de cada vehículo, y según cual sea, genera distintos niveles. En este contexto son relevantes los estándares

Euro, establecidos por la Unión Europea. Euro I rigió en Europa hasta 1996, y su cumplimiento requiere generalmente convertidor catalítico de 3 vías. En dicha fecha fue reemplazado por Euro II, que a su vez fue reemplazado en 2000 por Euro III, norma más exigente actualmente en vigencia. En los Estados Unidos se establecieron para vehículos pesados los estándares EPA91, EPA94 y EPA98, similares respectivamente a Euro I, Euro II y Euro III. Por su parte, un vehículo convencional no tiene ningún sistema de control de emisiones.



Fuente: Elaboración propia sobre la base de European Environmental Agency (EEA), 2000, "COPERT III Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport - Methodology and Emission Factors", technical report No. 49 (http://reports.eea.eu.int/Technical_report_No_49/en), 2000.

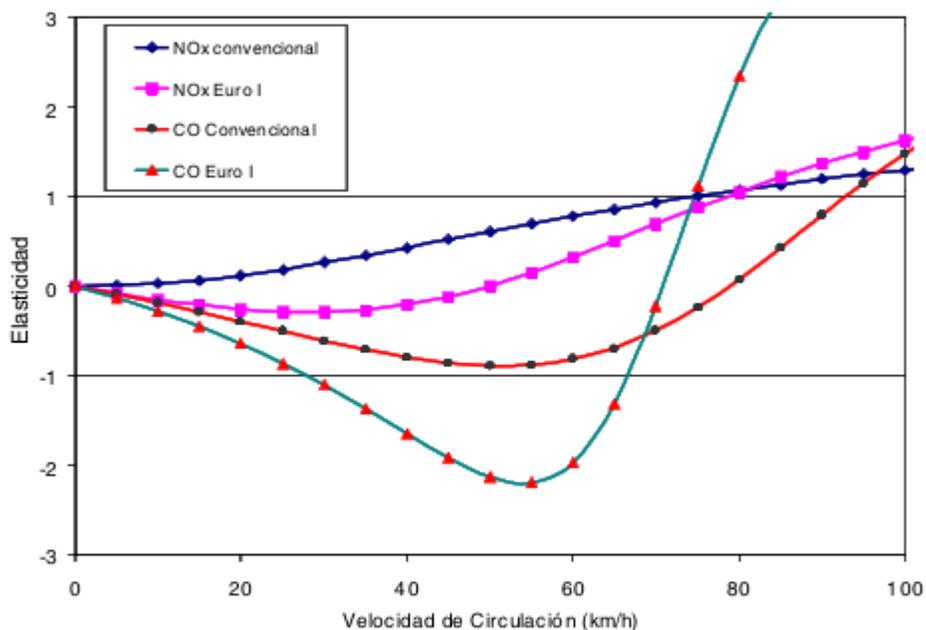
Se observa que en el caso de un vehículo que cumple con la norma Euro I, a medida que aumenta la velocidad, las emisiones disminuyen, producto de una operación más eficiente del vehículo. Sin embargo, a partir de una cierta velocidad, que para el óxido de nitrógeno es de aproximadamente 50 km/h, las emisiones comienzan a aumentar, debido al mayor gasto de energía necesario para mover el vehículo a velocidades mayores. Para un vehículo convencional, las emisiones siempre aumentan con la velocidad.

De este modo, si una medida para reducir la congestión se traduce en un aumento de la velocidad de operación, se produce una disminución de emisiones de los vehículos catalíticos, debido al efecto de la velocidad, siempre que ella esté por debajo del punto en que las emisiones comienzan a aumentar. Esta condición se cumple casi siempre en un área urbana. Por ejemplo, la velocidad promedio de circulación de los vehículos particulares en Santiago de Chile es de 26 km/h para la hora punta de la mañana. Dependiendo de la composición de tecnologías del parque vehicular y de las velocidades

de circulación promedio, una medida que reduzca la congestión derivará en una disminución o un aumento de las emisiones de óxidos de nitrógeno.

El comportamiento de las emisiones unitarias con respecto a la velocidad de circulación varía según el contaminante y la tecnología. En general, para todos los contaminantes de interés, las emisiones disminuyen conforme aumenta la velocidad de desplazamiento (véase el gráfico VI.3).

Gráfico VI.3
VARIACIÓN UNITARIA DE LAS EMISIONES EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD
Y LA TECNOLOGÍA DE LOS VEHÍCULOS



Fuente: Elaboración propia sobre la base de European Environmental Agency (EEA), 2000, "COPERT III Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport- Methodology and Emission Factors", technical report No. 49 (http://reports.eea.eu.int/Technical_report_No_49/en), 2000.

NO_x = Óxidos de nitrógeno.
CO = Monóxido de carbono.

La elasticidad es el cambio porcentual de emisiones cuando la velocidad de circulación varía en 1%. Los valores negativos indican que las emisiones disminuyen a medida que aumenta la velocidad y viceversa.

Se observa que para el monóxido de carbono, hasta una cierta velocidad, las emisiones disminuyen cuando aumenta la velocidad. Esta situación se revierte a los 70 u 80 km/h, dependiendo de que se trate de vehículos Euro I o convencionales. Se deduce que es improbable que una medida que reduzca la congestión pudiese aumentar las emisiones.

Sin embargo, para los óxidos de nitrógeno la situación es diferente, como se ya comentó anteriormente y se corrobora en esta figura.

2. Cambio en la distancia recorrida por cada modo

El segundo efecto de una medida que apunta a reducir la congestión es la variación en la distancia total recorrida por cada uno de los modos, lo que se debe a que hay viajeros que cambian de modo de transporte para sus desplazamientos. En este caso, los descensos o alzas en las emisiones totales dependerán fuertemente del tipo de medida. Si los modos de transporte menos contaminantes aumentan su distancia recorrida, la medida producirá una disminución de las emisiones totales y viceversa.

Como se mostró en los capítulos III y IV, las medidas tendientes a reducir la congestión se pueden clasificar en las que actúan sobre la oferta y las que lo hacen sobre la demanda. En general, las medidas que modifican la oferta favoreciendo el uso del automóvil, como el rediseño, el ensanche o la construcción de rutas y vías expresas, pueden inducir un incremento en la distancia recorrida por ellos, lo que producirá un incremento de sus emisiones y, posiblemente, de las emisiones totales. A la inversa, medidas que rebajen la demanda por viajar en automóvil, como sería el efecto de corto plazo de la tarificación vial, pueden derivar en una disminución de las distancias recorridas por ellos, con lo que las emisiones totales descenderían.

3. Cambio en el consumo de combustible

El cambio en la velocidad de circulación y la distancia total recorrida por cada modo afecta también al consumo total de cada combustible. Las emisiones de algunos contaminantes, como el CO₂, el azufre y el plomo, dependen directamente del consumo del combustible que los contiene, por lo que sus emisiones cambian en forma proporcional.

3.2 Economía:

Además del costo por muertes prematuras hay un costo económico por la pérdida de horas productivas. Conductores de las 10 ciudades más congestionadas en Estados Unidos pasan alrededor de 42 horas sentados en embotellamientos todos los años perdiendo más de US\$121 billones en tiempo y combustible⁶.

3.2.1 Diversos indicadores revelan una situación agravada y que empeora

El transporte urbano en su conjunto es una actividad de importante magnitud en el devenir de un país. La operación de los vehículos que circulan en las vías de ciudades de más de 100 000 habitantes consume alrededor de 3.5% del PIB de América Latina y el Caribe, sin considerar los viajes opcionales, como los de fines de semana. El valor social del tiempo consumido en los viajes equivale a aproximadamente otro 3% del PIB (Thomson, 2000b). De estas cifras se desprende que los recursos dedicados al transporte urbano son muy significativos.

Es muy probable que esos porcentajes vayan en aumento, por varias razones. Una, es el ya comentado aumento de la tasa de motorización y la tendencia al uso intensivo del automóvil. Otra, es la expansión de las ciudades y la consecuente extensión del largo de los viajes (Thomson, 2002a).

Es inevitable que una demanda creciente sobre una oferta vial relativamente constante redunde en una disminución progresiva de las velocidades de circulación. La situación se está deteriorando a tasas aceleradas, según revela la forma de las ecuaciones –obtenidas en forma estadística– que relacionan la velocidad de circulación en una calle con el volumen de tránsito.

En las horas pico, gran parte de la red vial en las ciudades latinoamericanas opera muy cerca de su capacidad, lo que implica que pequeños aumentos en los flujos de tránsito agraven muy severamente la congestión. Aunque no hay muchas cifras que reflejen concretamente la tendencia de la congestión a lo largo de los años, datos de São Paulo indican que en 1992, en promedio, unos 28 kilómetros de la red principal de las vías sufría de congestión aguda en las mañanas, y 39 kilómetros en las tardes; en 1996, los kilómetros afectados habían subido a 80 y 122, respectivamente (Companhia de Engenharia de Tráfego, 1998).

El caso de Santiago de Chile es interesante por el hecho de ser la capital del país latinoamericano en que comenzó el proceso de reforma y apertura económica. Hay congestión creciente, que no se observa solamente en las comunas más adineradas, sino también en algunas de ingresos medianos. En las avenidas de los barrios de mayores ingresos, situados en el noreste de la ciudad, y las vías hacia el centro se observa

6 <http://www.forbes.com/sites/jimgorzalany/2013/04/25/the-worlds-most-traffic-congested-cities/>

congestión, así como también en vías ubicadas en otras partes de la ciudad, donde los ingresos familiares son muy inferiores y que ni siquiera son zonas de pasada para personas de ingresos altos.

En cuanto al costo de la congestión causada, para las condiciones de Caracas en 1971, cuando la situación era menos grave que en la actualidad, se calculó que cada ocupante de automóvil generó, a precios de 2000, un costo de congestión de 0.18 dólares por kilómetro, y cada ocupante de bus, de 0.02 dólares por kilómetro.⁵

Parece razonable concluir que los costos de congestión son elevados y, a la inversa, que la adopción de medidas de costo moderado para rebajarla tendría beneficios netos significativos. Cálculos conservadores estiman que aumentar, en promedio, las velocidades de los viajes en auto en 1 km/h y los de transporte colectivo en 0.5 km/h implica una reducción de tiempos de viaje y de costos de operación por un valor equivalente a 0.1% del PIB (Thomson, 2000b).

De todos modos, el solo hecho de medir las velocidades del tránsito o cuantificar los costos de congestión no refleja del todo la profundidad del problema. De hecho, para limitar los efectos de la congestión, hay personas que cambian de conducta, adoptando hábitos que, idealmente, no serían de su preferencia, como salir de la casa muy temprano para adelantarse a los momentos de mayor congestión o residir en las cercanías del lugar de trabajo.

A lo señalado deben agregarse otras serias consecuencias que afectan severamente las condiciones de la vida urbana, entre las que se cuentan la incrementada contaminación del aire provocada por el consumo de combustibles en vehículos que circulan en un tránsito convulsionado a baja velocidad, los mayores niveles de ruido en el entorno de las vías principales, la irritabilidad causada por la pérdida de tiempo y el aumento del estrés por conducir inmerso en una masa vehicular excesiva. Estos otros resultados de la congestión pueden ser difíciles de cuantificar, pero no por ello deben ignorarse, ya que son agravantes de una situación seria.

3.2.2. ¿Quiénes pagan los costos de la congestión?

En primer lugar, debe decirse que los efectos perjudiciales de la congestión caen sobre todos los habitantes de las urbes, en términos de deterioro de su calidad de vida en distintos aspectos, como mayor contaminación acústica y atmosférica, impacto negativo sobre la salud mental, y otros. Por lo tanto, de una forma u otra, nadie queda inmune a sus consecuencias.

Enfocando el análisis en quienes deben transportarse, se pueden analizar los efectos de la congestión mediante el desglose de su costo en dos componentes fundamentales: el tiempo personal y los costos operacionales de los vehículos, especialmente el combustible. Ambos se ven aumentados al viajar bajo condiciones de congestión.

Está fuera de toda discusión que los propios automovilistas soportan las consecuencias de la congestión. Es decir, experimentan los efectos de lo que ellos mismos han originado, en términos de mayores tiempos de desplazamiento y costos de operación acrecentados.

Sin embargo, los automovilistas no son los únicos que sufren los efectos de la congestión. En efecto, la congestión agrava la condición ya deteriorada del transporte colectivo, de modo que también sus usuarios se ven afectados seriamente por ella, sin ser los causantes. Esta situación es fuente de inequidad social, pues el transporte público es empleado mayoritariamente por personas de menores recursos y que, por ello, son sus cautivos.

a) La congestión atrasa a los pasajeros de buses

Evidentemente, la congestión obliga a los pasajeros de buses a demorarse más en efectuar sus desplazamientos. El mayor tiempo de viaje es un perjuicio real, que posiblemente no llame demasiado la atención debido a los ingresos relativamente bajos de estos pasajeros, lo que trae como consecuencia un bajo valor monetario de su tiempo personal.

En América Latina, especialmente, los usuarios de los autobuses urbanos tienen ingresos muy inferiores a los de los automovilistas urbanos. En Santiago de Chile, un análisis de los datos generados por el estudio de orígenes y destinos del año 1991 permite estimar el ingreso familiar de los pasajeros de buses en unos 99 321 pesos, y el de los usuarios de automóviles en unos 308 078 pesos. Es decir, típicamente, el ingreso de los ocupantes de los automóviles triplicaba con creces el de los pasajeros de buses. Datos referentes a São Paulo para 1977, afirman que, en principio, la situación allí no era demasiado diferente a la de Santiago (véase el cuadro II.4), y si existiesen mediciones en otras ciudades de la región, probablemente la conclusión sería similar.

Cuadro II.4
**SÃO PAULO: INGRESOS RELATIVOS DE LOS USUARIOS DE
 DIFERENTES MEDIOS DE TRANSPORTE, 1977**
(Automóvil = 100)

Medio de transporte	Ingreso relativo de viajeros
Sólo bus	55
Sólo automóvil	100
Sólo taxi	91
Sólo metro	89
Sólo tren suburbano	39
Combinación bus+bus	50
Combinación bus+metro	62.5
Combinación bus+tren	50

Fuente: Sobre la base de estimaciones de la Empresa Metropolitana de Transporte Urbano de São Paulo, para ese año.

b) La congestión alza las tarifas de los buses

Otro factor, que posiblemente muchos pasajeros consideren más importante que el mayor tiempo de viaje, es la tarifa de los buses. La congestión demora no solamente a los ocupantes de los buses, sino también a los propios buses, por lo que para proveer la misma capacidad de transporte se requieren más unidades con sus respectivos conductores, trayendo como consecuencia tarifas más elevadas.

Este fenómeno fue analizado en 1982, estimándose que un incremento en la velocidad de circulación de la locomoción colectiva de Santiago de 15 a

17.5 km/h en las horas punta permitiría reducir las tarifas en hasta 5% (Thomson, 1982). Un estudio más reciente sobre las mayores ciudades del Brasil estimó que la congestión aumenta los costos operacionales del transporte autobusero en hasta 16% (véase el cuadro II.5). Nótese que los valores porcentuales son muy reducidos en los casos de Brasilia, donde la oferta de espacio vial es excepcionalmente generosa, y la de Curitiba, donde los buses que operan los recorridos radiales circulan sobre vías exclusivas.

En las condiciones del año 2000, después de casi 20 años de alzas reales en los precios de las unidades y los ingresos de los choferes, seguramente sería factible una reducción de 10%.

Cuadro II.5
**CIUDADES BRASILEÑAS: AUMENTOS DE COSTOS OPERACIONALES DEL
 TRANSPORTE COLECTIVO CAUSADOS POR LA CONGESTIÓN VEHICULAR**
 (En porcentajes)

Ciudad	Aumento en costo operacional de los buses por la congestión
Belo Horizonte	6.2
Brasilia	0.9
Campiñas	6.4
Curitiba	1.6
João Pessoa	3.7
Juiz de Fora	2.1
Recife	3.5
Rio de Janeiro	9.6
São Paulo	15.8

Fuente: Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP), "Estudio de deseconomías del transporte urbano en Brasil: los impactos de la congestión", *Boletín de los transportes públicos de América Latina*, año 5, N° 30, São Paulo, 1999.

3.3 Problema Multifactorial

Para atacar a esta problemática multifactorial son útiles esfuerzos de inversión, políticas gubernamentales o bien el mejoramiento del sistema público de transporte.

Adaptar las vías de acceso al tendiente crecimiento implicaría una sideral inversión pública en autopistas, puentes, viaductos, intercambiadores viales, etc. aunque algunos estudios basados en el análisis de información de los sistemas de monitoreo de autopistas junto con información de densidad demográfica, empleos, tránsito y factores políticos indican que la construcción de nuevas rutas o el ensanchamiento de las existentes solo resulta en adicional tráfico que continua creciendo hasta alcanzar el pico de congestión del nivel anterior

Teniendo en cuenta estos factores mi proyecto pondrá foco en mejorar las condiciones de tránsito incurriendo en costos significativamente menores a soluciones de mejoramiento de infraestructura

4.0 SOLUCIÓN PROPUESTA

En este capítulo se presenta una introducción al sistema implementado y los resultados obtenidos por este, la simulación de la red de tránsito del casco céntrico de la ciudad de Córdoba, detallando los resultados obtenidos y la comparativa entre redes de tránsito con señales dinámicas y con tiempo fijo.

4.1 Introducción

La coordinación de semáforos es una de las formas más eficientes de reducir demoras, consumo de combustible, contaminación y accidentes. La coordinación consiste en establecer ciclos, repartos y desfases en una vía o red, de manera tal que los vehículos puedan desplazarse a una cierta velocidad, procurando que las interrupciones generadas por luz roja sean mínimas.

Los parámetros más importantes que deben considerarse para la coordinación de un sistema son el ciclo, que normalmente será común para todos los semáforos coordinados, el reparto o distribución de tiempos en verde, y el desfase, que es el período que transcurre entre el comienzo de una fase específica en un semáforo y su comienzo en la intersección siguiente.

Además de estos parámetros básicos, existe un conjunto de condiciones que deben resolverse en la medida en que el eje o red a coordinar aumenta en complejidad, todo lo cual puede ser asistido por herramientas de modelación para representar y optimizar cada caso.

La unidad básica para coordinar es un eje, corredor o vía. Cuando se trata de ejes sencillos unidireccionales es posible utilizar técnicas gráficas o “banda verde”, obteniéndose programaciones normalmente fijas, calculadas sobre la base de datos históricos de flujos y velocidades. Pero en casos bidireccionales con intersecciones espaciadas irregularmente, puede ser difícil e incluso imposible determinar una “banda verde” sin interrupciones y que satisfaga la demanda. Desde luego, la coordinación de redes es simplemente imposible de plantear con dicho método.

En los últimos 30 años se ha producido un extraordinario desarrollo tecnológico, que mediante la incorporación de la computación y la electrónica al manejo de complejas situaciones de tránsito, ha permitido el control de amplias redes, con sistemas centralizados y flexibles en relación con la demanda. Programas como SIGOP, COMBINATION METHOD y TRANSYT han cambiado

completamente la forma de enfrentar el problema, proveyendo capacidades antes insospechadas para avanzar en la optimización de los sistemas de tránsito. En particular, TRANSYT ha sido ampliamente probado en muchos países, y ha llegado a constituir prácticamente un estándar internacional para la coordinación de redes.

4.2 Coordinación de semáforos

1. Coordinación con planes fijos

Esta modalidad requiere de controladores de semáforos con suficiente capacidad para recibir y administrar las instrucciones de los planes preestablecidos. Éstos se generan externamente por medio de mediciones de flujos, siendo recomendable instalar tantos planes como períodos de operación relevantes puedan detectarse. Es condición fundamental en este caso disponer en cada controlador de relojes que funcionen con la frecuencia de la red o relojes de cuarzo de gran precisión, de manera que el desfase pueda ser adecuadamente programado y mantenido en el tiempo. Alternativamente, puede considerarse la conexión vía cable entre controladores, en cuyo caso el sistema trabaja con un reloj común.

La coordinación con planes fijos se originó en una etapa en que la computación, las comunicaciones y la tecnología de detección no eran aún suficientes para proveer soluciones más ajustadas a situaciones complejas de variación de demanda e interacción de redes. Ello no significa que dicha modalidad esté necesariamente obsoleta. El análisis de cada caso dirá si es posible resolver adecuadamente una determinada necesidad de control con planes fijos, atendiendo a las condiciones de la demanda y los costos involucrados.

2. Coordinación flexible o dinámica

Las soluciones de coordinación flexible en función de la demanda son útiles en áreas de tránsito intenso, habitualmente sometidas a interferencias no predecibles. Esta modalidad se basa en la detección en tiempo real de los flujos relevantes que llegan a cada intersección; estos datos son procesados “en línea” por un computador central, el que determina planes actualizados de ciclo de semáforos, que son transmitidos a los controladores de cada intersección.

El sistema es bastante sofisticado, pues además del computador central equipado con programas computacionales apropiados y de semáforos con controladores capaces de obedecer las instrucciones, requiere de comunicación directa entre la central y el controlador de cada intersección.

Entre las opciones más conocidas en esta materia está el sistema inglés SCOOT y el australiano SCAT.

3. Sistemas de control centralizado

Una mayor complejidad tecnológica representa un sistema de control centralizado de semáforos, que abre la posibilidad de administrar distintas modalidades, atendiendo diferenciadamente los requerimientos de control de áreas o ejes específicos. Esto quiere decir que, si es necesario, por ejemplo, establecer control dinámico en el centro de una ciudad, ello no significa que tal modalidad tenga que aplicarse obligatoriamente al conjunto de la red de semáforos de la ciudad y, desde luego, habrá que considerar que ni siquiera convendrá que algunas intersecciones estén coordinadas, ya que funcionalmente no integran red alguna.

La centralización del control provee la capacidad de administrar el conjunto del sistema de acuerdo a las necesidades de cada parte, pudiendo presentar además las siguientes facilidades:

- Comunicación directa con cada controlador de semáforo con fines de control de tránsito;
- Comunicación directa con cada controlador para el monitoreo de fallas;
- Implantación de planes de emergencia para la circulación de vehículos especiales;
- Administración de letreros de información variable para producir información y recomendaciones a los conductores sobre el estado de la ruta, y en casos especiales, generar cambios de recorridos, y
- Administración de cámaras de televisión para observación directa del estado de intersecciones o ejes críticos.

Es decir, al existir comunicación entre la central y cada controlador se amplían las posibilidades de administración de tránsito a aspectos no necesariamente ligados a los programas del semáforo, lo que abre el camino a una gestión más integral de las intersecciones y redes involucradas. Un sistema de control centralizado de tránsito permite no sólo la coordinación de ejes o redes de semáforos, sino que un manejo integral de los problemas de circulación mediante cámaras de televisión, letreros de información variable a la gente, detección remota de fallas y manejo de situaciones de emergencia.

Los sistemas de control centralizado de tránsito constituyen, en general, proyectos altamente rentables en términos sociales, cuando son correctamente diseñados y aplicados en ciudades que presentan congestión vial.

4.2 Técnicas de detección de vehículos

Algoritmo Haar Cascade

Características Haar-like son las características de imagen digital utilizados en el reconocimiento de objetos. Ellos deben su nombre a su similitud intuitiva con wavelets de Haar y se utilizaron en el primer detector de rostros en tiempo real.

Históricamente, el trabajo con sólo intensidades de imagen (es decir, los valores de los píxeles RGB en todos y cada píxel de la imagen) hicieron la tarea de función de cálculo computacional bastante costoso. Una publicación de Papageorgiou et al. discute el trabajo con un conjunto de características alternativo basado en Haar wavelets en lugar de las intensidades de imagen habituales. Viola y Jones adaptaron la idea de usar wavelets de Haar y desarrollaron las denominadas características Haar-like. Una característica Haar-like considera regiones rectangulares adyacentes en una ubicación específica en una ventana de detección, resume las intensidades de los píxeles en cada región y calcula la diferencia entre estas cantidades. Esta diferencia se usa entonces para categorizar subsecciones de una imagen. Por ejemplo, vamos a decir que tenemos una base de datos de imágenes con rostros humanos. Es una observación común que, entre todas las caras de la región de los ojos es más oscuro que la región de las mejillas. Por lo tanto una característica haar común para la detección de rostros es un conjunto de dos rectángulos adyacentes que se encuentran por encima del ojo y la región de la mejilla. La posición de estos rectángulos se define en relación a una ventana de detección que actúa como un cuadro delimitador al objeto de destino (la cara en este caso).

En la fase de detección del marco de detección de objetos Viola-Jones, una ventana del tamaño de destino se mueve sobre la imagen de entrada, y para cada subsección de la imagen se calcula la función de Haar-similares. Esta diferencia se compara entonces con un umbral aprendido que separa los no objetos de los objetos. Debido a esta característica Haar-like sólo un aprendiz débil o clasificador (su calidad de detección es un poco mejor que adivinar al azar) a un gran número de características Haar-like son necesarios para describir un objeto con una precisión suficiente. En el marco de detección de objetos Viola-Jones, las características Haar-like se organizan, por lo tanto en algo llamado una cascada clasificador para formar un alumno o clasificador fuerte.

La principal ventaja de una característica Haar-like en la mayoría de otras características es su velocidad de cálculo. Debido al uso de imágenes integrales, una característica Haar-like de cualquier tamaño se puede calcular en tiempo constante (aproximadamente 60 instrucciones de microprocesador para una característica 2-rectángulo).

Rectangular Haar-like

Una simple característica Haar-like rectangular se puede definir como la diferencia de la suma de los píxeles de las áreas dentro del rectángulo, que puede estar en cualquier posición y la escala dentro de la imagen original. Este conjunto de características modificadas se llama función 2-rectángulo. Viola y Jones también definen características 3-rectángulo y funciones 4-rectángulo. Los valores indican ciertas características de un área particular de la imagen. Cada tipo de función puede indicar la existencia (o ausencia) de ciertas características en la imagen, tales como bordes o cambios en la textura. Por ejemplo, una característica 2-rectángulo puede indicar dónde se encuentra el límite entre una región oscura y una región de la luz.

Computo rápido de características Haar-like

Una de las contribuciones de Viola y Jones era utilizar tablas de área sumados, que llamaron imágenes integrales. Imágenes integrales pueden definirse como tablas de búsqueda de dos dimensiones en forma de una matriz con el mismo tamaño de la imagen original. Cada elemento de la imagen integral contiene la suma de todos los píxeles situados en la región arriba a la izquierda de la imagen original (en relación con la posición del elemento). Esto permite calcular suma de áreas rectangulares en la imagen, en cualquier posición o escala, utilizando sólo cuatro búsquedas.

Background Substraction

Background Substraction, también conocida como Detección primer plano, es una técnica en las áreas de procesamiento de imágenes y visión por computador en donde en primer plano de una imagen se extrae para su posterior procesamiento (el reconocimiento de objetos, etc.). Generalmente las regiones de una imagen de interés son los objetos (los seres humanos, los coches, texto, etc.) en su primer plano. Después de la etapa de pre-procesamiento de imagen (que puede incluir eliminación de ruido de imagen, procesamiento post como la morfología, etc.) la localización de objetos que se requiere que puede hacer uso de esta técnica. Background Substraction es un método ampliamente utilizado para la detección de objetos en movimiento en los videos de las cámaras estáticas. El fundamento de este enfoque es el de la detección de los objetos que se mueven a partir de la diferencia entre el marco actual y un marco de referencia, a menudo llamada "imagen de fondo", o "modelo de fondo". Background Substraction se

realiza sobre todo si la imagen en cuestión es una parte de un flujo de vídeo. Background Substraccion ofrece claves importantes para numerosas aplicaciones en visión por computador, para el seguimiento del ejemplo de vigilancia o humana plantea estimación. Sin embargo, la sustracción del fondo se basa generalmente en una estática hipótesis de fondo que a menudo no es aplicable en entornos reales. Con escenas de interior, reflejos o imágenes animadas en las pantallas de conducir a cambios de fondo. De igual manera, debido al viento, la lluvia o la iluminación cambios provocados por el clima, los métodos fondos estáticos tienen dificultades con escenas al aire libre.

Los enfoques convencionales

Un fondo robusto algoritmo de la resta debe ser capaz de manejar los cambios de iluminación, movimientos repetitivos de desorden y largo plazo los cambios de escena. [2] Los siguientes análisis hacen uso de la función de $V(x, y, t)$ como una secuencia de vídeo en la que t es la dimensión de tiempo, x e y son las variables de localización de píxel. $EGV(1, 2, 3)$ es la intensidad de píxel en la posición $(1,2)$ de píxel de la imagen en $t = 3$ en la secuencia de vídeo.

El uso de diferenciación marco

Un algoritmo de detección de movimiento comienza con la parte de la segmentación en primer plano o en movimiento objetos están segmentados del fondo. La forma más sencilla de implementar esta es tomar una imagen como fondo y tomar los fotogramas obtenidos en el momento t , denotada por $I(t)$ para comparar la imagen de fondo denotado por B . Aquí usando cálculos aritméticos simples con, nosotros puede segmentar el objetos, simplemente mediante el uso de la imagen técnica de sustracción de visión por computador que significa para cada uno de los píxeles de $I(t)$, toman el valor de píxel denotado por $P[I(t)]$ y restar con los píxeles correspondientes en la misma posición en la imagen de fondo denotado como $P[B]$.

En la ecuación matemática, está escrito como:

$$P[F(t)] = P[I(t)] - P[B]$$

El fondo se supone que es el marco en el tiempo t . Esta imagen diferencia sería sólo muestran cierta intensidad para las ubicaciones de píxeles que han cambiado en los dos marcos. Aunque aparentemente hemos eliminado el fondo, este enfoque sólo funcionará para los casos en que todos los píxeles de primer plano se están moviendo y todos los píxeles de fondo son estáticos. [2] [3] Un umbral "Umbral" está puesto en esta imagen de diferencia para mejorar la resta (ver umbral de imagen).

$$|P[F(t)] - P[F(t + 1)]| > \text{Threshold}$$

Esto significa que las intensidades 'se' los píxeles de la imagen de diferencia thresholded 'o filtradas sobre la base del valor de umbral. [4] La precisión de este enfoque depende de

la velocidad de movimiento en la escena. Movimientos más rápidos pueden requerir umbrales más altos.

Filtro Promedio

Para el cálculo de la imagen que contiene sólo el fondo, se promedian una serie de imágenes anteriores. Para el cálculo de la imagen de fondo en el instante t ,

$$B(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V(x, y, t - i)$$

donde N es el número de imágenes tomadas precedente para promediar. Este promedio se refiere al promedio de los píxeles correspondientes en las imágenes dadas. Dependera de la velocidad de vídeo (número de imágenes por segundo en el video) y la cantidad de movimiento en el vídeo. Después de calcular el fondo $B(x, y)$ entonces podemos restarlo de la imagen $V(x, y, t)$ en el tiempo $t = t$ y el umbral de la misma. Así, el primer plano es $|V(x, y, t) - B(x, y)| > Th$

donde J es el umbral. Del mismo modo, también podemos usar la mediana en lugar de la media en el cálculo anterior de $B(x, y)$.

El uso de global y tiempo independiente de umbrales (Th mismo valor para todos los píxeles de la imagen) puede limitar la exactitud de los dos enfoques anteriores. [2]

Correr promedio de Gauss

Para este método, Wren et al. [6] propone el ajuste de una función de densidad probabilística de Gauss (pdf) en los marcos más recientes. Con el fin de evitar el montaje del pdf a partir de cero en cada nuevo marco de tiempo, una marcha (o en línea acumulativa) se calcula la media.

El pdf de cada píxel se caracteriza por la media y la varianza. La siguiente es una posible condición inicial (suponiendo que inicialmente cada píxel es de fondo):

$$\mu_0 = I_0$$

$$\sigma_0^2 = <$$

donde es el valor de la intensidad del píxel en el tiempo t . Para inicializar varianza, podemos, por ejemplo, utilizar la varianza de x e y de una pequeña ventana alrededor de cada píxel.

Tenga en cuenta que el fondo puede cambiar con el tiempo (por ejemplo, debido a los cambios de iluminación o los objetos del fondo no estáticos). Para acomodar para que el cambio, en cada marco t , media de cada píxel y la varianza deben actualizarse, como sigue:

$$\begin{aligned}\mu_t &= \rho I_t + (1 - \rho)\mu_{t-1} \\ \sigma_t^2 &= d^2 \rho + (1 - \rho)\sigma_{t-1}^2 \\ d &= |(I_t - \mu_t)|\end{aligned}$$

Donde ρ determina el tamaño de la ventana temporal que se utiliza para encajar el pdf (generalmente $\rho = 0.01$) y d es la distancia euclidiana entre la media y el valor del píxel.

Ahora podemos clasificar un píxel como fondo si su intensidad actual se encuentra dentro de un intervalo de confianza de la media de la distribución:

$$\begin{aligned}\frac{|(I_t - \mu_t)|}{\sigma_t} &> k \longrightarrow \textit{Foreground} \\ \frac{|(I_t - \mu_t)|}{\sigma_t} &\leq k \longrightarrow \textit{Background}\end{aligned}$$

donde el parámetro k es un umbral libre (usualmente $k = 25$). Un valor más grande para k permite para el fondo más dinámica, mientras que un k más pequeño aumenta la probabilidad de una transición de fondo a primer plano debido a los cambios más sutiles.

En una variante del método, la distribución de un píxel sólo se actualiza si se clasifica como fondo. Esto es para evitar que los objetos en primer plano de reciente introducción de la decoloración en el fondo. La fórmula de actualización para la media se cambia en consecuencia: $\mu_t = M\mu_{t-1} + (1 - M)(I_t\rho + (1 - \rho)\mu_{t-1})$

donde $M = 1$ cuando se considera el primer plano y $M = 0$ en caso contrario. Así que cuando $M = 1$, es decir, cuando se detecta el píxel como primer plano, la media se mantendrá igual. Como resultado, un píxel, una vez que se ha convertido en primer plano, sólo puede convertirse en el fondo de nuevo cuando el valor de la intensidad se aproxima a lo que era antes de girar primer plano. Este método, sin embargo, tiene varios problemas: Sólo funciona si todos los píxeles son inicialmente píxeles de fondo (o píxeles de primer plano están anotados como tales). Además, no puede hacer frente a los cambios de fondo graduales: Si un píxel se clasifica como un primer plano para demasiado largo período de tiempo, la intensidad de fondo en esa ubicación podría haber cambiado (ya que la iluminación ha cambiado etc.). Como resultado, una vez que el objeto en primer plano se ha ido, la nueva intensidad de fondo puede no ser reconocido como tal nunca más.

Modelos de mezcla de fondo

En esta técnica, se supone que los valores de intensidad de cada píxel en el video pueden ser modelados usando un modelo de mezcla gaussiana. Una simple heurística determina qué intensidades son más probablemente del fondo. Entonces los píxeles que no coinciden con éstos se llaman los píxeles de primer plano. Píxeles de primer plano se agrupan mediante análisis de componentes 2D conectada.

Selección del algoritmo

Si se desea hacer el seguimiento de vehículos, lo más conveniente es un algoritmo de seguimiento. El Haar Cascade no es la mejor opción para el seguimiento de vehículos debido a su gran número de falsos positivos. Para ello, lo más recomendable es utilizar un algoritmo de BS. Pero sólo un algoritmo de BS no es suficiente para hacer el seguimiento de vehículos, se necesita un algoritmo de seguimiento de burbuja o una biblioteca como cvBlob u OpenCVBlobsLib

Aquí hay algunos de los pasos a seguir para hacer el seguimiento de vehículos y el recuento:

- En primer lugar, realizar una sustracción de fondo.
- Enviar la máscara de primer plano a cvBlob u OpenCVBlobsLib.
- La biblioteca cvBlob presentan algunos métodos para obtener el baricentro, la pista y el ID de los objetos en movimiento. También puede establecer si desea dibujar un rectángulo de selección, o el centro de gravedad y el ángulo del objeto seguido.
- Comprobar si el centro de gravedad del objeto en movimiento ha cruzado una línea virtual (o región) en el vídeo

4.3 Criterios de decisión para selección de herramientas de simulación

La simulación por ordenador es una disciplina cada vez más popular en el campo de la ciencia en general. Se abordan diferentes problemas científicos utilizando el procesamiento de la computadora a través de la simulación de entornos artificiales. Utilizan estos ambientes simulados para probar los modelos científicos con el fin de probar o refutar su viabilidad y corrección. Alto poder máquina de hoy da a la gente la capacidad de simular entornos a un ritmo mucho más rápido que cualquier entorno real, por lo que cualquier experimento llevado a cabo en el medio simulado proporcionaría resultados minutos, horas, días o incluso a veces semanas, meses y años por delante de lo mismo experimento proporcionaría llevado a cabo en el mundo real. Uno de los sistemas que se estudia mejor mediante una simulación por ordenador es una red de tráfico. Es más común para experimentar con las redes de tráfico hacerlo en un entorno simulado equipo, ya que experimentar con el tráfico en el entorno real no es práctico. Los

científicos informáticos han llegado con diferentes estrategias para simular sistemas de tráfico que corresponden a las dos categorías siguientes:

1. simulación macroscópica incluyendo: modelos de dispersión estadísticos, el modelo de tráfico de la autopista, etc.

2. simulación microscópica incluyendo: autómatas celulares, multi-agente de simulación, sistema de partículas de simulación, etc., así como estrategias que combinan estos dos enfoques. Con el fin de investigar las diferentes estrategias de simulación de tráfico, se ha revisado y comparado diferentes paquetes de software simulador de tráfico, que implementan estas estrategias. En este capítulo damos un repaso general de los paquetes de software investigados, sus características, diferencias, al tiempo que discutir algunas ideas y algoritmos que se pueden aplicar a los sistemas de tráfico simulados con el fin de obtener resultados más realistas sobre el nivel de simulación microscópica. Se revisaron los siguientes paquetes de simulaciones de tráfico conocidas y ampliamente utilizadas:

1. SUMO - Simulation of Urban Mobility, version 0.10.3 "Simulation of Urban MObility" (SUMO) is an open source, highly portable, microscopic road traffic simulation package designed to handle large road networks. [12]

2. Quadstone Paramics Modeller, version 6.4.1 Quadstone Paramics is a modular suite of microscopic simulation tools providing a powerful, integrated platform for modelling a complete range of real world traffic and transportation problems. [13]

3. Treiber's Microsimulation of Road Traffic [14] Treiber's Microsimulation is a personal software project created by that author and used in his research of traffic dynamics and traffic modelling.

4. Aimsun, version 6.0.4 Aimsun is a simulation package that integrates three types of transport models: static traffic assignment tools; a mesoscopic simulator; and a microsimulator. [15]

5. Trafficware SimTraffic, version 6 (build 614) SimTraffic is a simulation application part of Trafficware's Synchro Studio package. It servers as a traffic simulator for Trafficware's Studio, which also includes traffic lights synchronization application. [16]

6. CORSIM TRAFVU, version 6.1 CORSIM TRAFVU servers as a traffic simulation viewer and is part of the TSIS CORSIM software package. It provides animation and static graphics of traffic networks, using the CORSIM input and output files created by a licensed user of TSIS CORSIM. [17]

Se comparo sus características con respecto a los siguientes criterios:

1. Open Source y Free Uso
2. Sistema Operativo Portabilidad
3. Documentación del paquete y la interfaz de usuario
4. Creación de redes de tráfico y patrones de vehículos asociados
5. GUI Simulación y calidad de la representación gráfica
6. Simulación de salida (de datos y archivos)
7. Capacidad para simular grandes redes de tráfico
8. Las capacidades adicionales de CPU y de rendimiento de memoria

Open Source y Uso gratuito

Software de código abierto ofrece a los usuarios el derecho a utilizar el software libre de forma gratuita, una característica que no es muy común en los paquetes de software comerciales. Sin embargo, los proyectos de código abierto se están volviendo más y más populares, ya que dan a sus usuarios el derecho de usar, estudiar y modificar el programa sin ningún tipo de restricción. De los seis paquetes de software que consideramos, sólo dos son de usogratis [12, 14], mientras que los otros 4 se pagan [13, 15, 16, 17]. Mientras que los paquetes libres podrían ser investigados en todo su potencial, sólo se pudo estudiar las versiones de demostración de los cuatro paquetes comerciales. Las versiones de demostración tenían 30 días restricciones de uso y / o restricciones de funciones. Otra de las características de los paquetes de software libre (SUMO y de Treiber microsimulación de tráfico por carretera) es que sus códigos fuentes están libremente disponibles para su descarga y uso. La diferencia entre los dos paquetes es que SUMO es en realidad un proyecto de código abierto que está siendo desarrollado por dos instituciones diferentes, mientras microsimulación de Treiber es un proyecto de software personal cuyo código fuente se ha puesto a disposición. El código fuente no está disponible para el estudio, la modificación o la investigación para los usuarios de los otros cuatro paquetes de software comerciales (Paramics Modeller, Aimsun, SimTraffic y CORSIM). Una de las características más populares de proyectos de código abierto es que pueden ser modificados adicionalmente por otros programadores, como ya se ha mencionado anteriormente. Esta función es compatible con el potencial de paralelización modelos de simulación y paquetes para explorar los sistemas informáticos de gama alta.

Sistema Operativo Portabilidad

La portabilidad del sistema operativo es otra de las características de un paquete de software que se está volviendo más y más popular con el desarrollo de sistemas operativos nuevos y mejorados. Este es también el mayor problema que la mayoría de los paquetes de simulación de tráfico revisamos cara. Hemos encontrado que sólo dos paquetes [12, 14] tienen la capacidad de trabajar bajo varios sistemas operativos, incluyendo los más utilizados hoy Microsoft Windows, Linux y Mac OS X. Mientras que los otros cuatro paquetes [13, 15, 16, 17], que también son los comerciales eran sólo es capaz de trabajar bajo los sistemas operativos Microsoft Windows XP y Microsoft Windows Vista. La imposibilidad de utilizar paquetes de software en sistemas operativos

X Linux y Mac OS, reduce y limita su piscina audiencia y usuarios; más y más de lo cotidiano estos dos sistemas operativos ser más popular y utilizado en el mundo.

Documentación del paquete y la interfaz de usuario

En los sistemas de software complejos, tales como paquetes de simulación de tráfico, es de suma importancia para que los usuarios tengan un fácil de entender y de usar interfaz gráfica de usuario y manual de usuario. No se ha podido localizar un manual de usuario para una sola [15] de los paquetes de software revisados. Sin embargo, todos los demás sistemas de simulación tenían un manual bien escrito y de fácil comprensión. Los manuales de usuario comparados, incluido especificaciones de su respectivo software, características y uso explican, que puede ser muy útil para un nuevo usuario de un paquete de software. En cuanto a la interfaz gráfica de usuario (GUI) de los paquetes de simulación, hemos encontrado la mayoría de ellos para ser muy fácil de entender y usar, sobre todo después de seguir el manual de usuario y las explicaciones de la GUI en el mismo. Solo un paquete [15] tenía una GUI más difícil de usar, pero que se debe principalmente al hecho de no tener un manual para ejecutar el usuario a través de su funcionamiento. Es necesario señalar en este punto que la interfaz gráfica de usuario de los paquetes sólo fue revisado por su fácil de seguir configurado para un usuario anterior del software. Es comprensible que para un usuario experimentado de una aplicación de software en particular (sin importar la complejidad de su interfaz gráfica de usuario), el software sería fácil de usar. 38 G. Kotusevski y K.A. Hawick

Creación de redes de tráfico y los patrones de vehículos asociados

Al revisar estas aplicaciones de simulación de tráfico, se ha encontrado diferentes enfoques en cuanto a medios de creación de redes de tráfico y los patrones de movimiento del vehículo. Se ha encontrado un editor gráfico para las redes de tráfico para cuatro [12, 13, 15, 16] de las aplicaciones revisadas, mientras que dos de ellos no tienen esta característica. Es importante mencionar que el paquete SUMO no incluye su propio editor gráfico para la red de tráfico, pero hay una aplicación de software SUMO Traffic Modeler disponible como código abierto y libre de utilizar la aplicación. Sin embargo, no se ha podido estudiar este modelador debido a los constantes errores que traía para arriba. Además, el paquete SimTraffic pretende incluir un editor gráfico en su versión completa, mientras que esto no fue el caso de su versión demo hemos revisado. En cuanto a los enfoques y maneras de crear las redes de tráfico, no había ninguna disponible en las versiones de demostración de SimTraffic y CORSIM TRAFVU, así como en la microsimulación de Treiber que sólo simula escenarios predefinidos. Sin embargo, se encontro las siguientes técnicas disponibles en el paquete de software mencionado:

SUMO:

- Manual (a mano) redactar de una red de tráfico en un archivo XML;
- Redes de importación creados en otras aplicaciones de simulación de tráfico;

- El uso de un generador de la red automática, creando tres diferentes tipos de redes: - red Grid - la red de la araña - red aleatoria

Quadstone Paramics Modelos:

- El uso de un asistente para la generación automática de la red (que genera una simple red de dos zonas en la versión demo) - al parecer la generación de patrones de movimiento. La siguiente lista presenta los enfoques que adquirimos en el marco del seguro de paquete de software:

SUMO:

- (A mano) vehículo definición de ruta manual con cuatro tipos diferentes de las definiciones: - las definiciones de flujo; - Flujo y los ratios de giro; - Origen-Destino matrices (OD); Una revisión de software de simulación de tráfico 39 - Además, el habitual para esta aplicación, con el borde manual de la orilla, el vehículo por definición ruta XML vehículo.
- Rutas de vehículos de importación creados en otras aplicaciones de simulación de tráfico;
- El uso de un generador de ruta de vehículos al azar.

Quadstone Paramics Modelos:

- La aplicación de una matriz OD;

Paquete de simulación Aimsun:

La aplicación de las matrices de DO utilizando la oferta y la demanda de tráfico de la zona.

- El paquete también incluye una aleatorización ruta vehículo. No éramos capaces de revisar cualquier medio de la creación de rutas de vehículos en las versiones de demostración de SimTraffic y CORSIM TRAFVU, pero debería estar disponible en las versiones completas de los paquetes de software. Además, Microsimulator de Treiber incluye algún tipo de distribución estadística de los vehículos donde el usuario puede definir básicamente el número de vehículos que emiten por hora a partir de una cierta intersección, así como la relación entre los coches y camiones en ciertos escenarios. Comparando los resultados que adquirimos de la investigación de las diferentes aplicaciones, se puede concluir que la mayoría de los paquetes incluyen editor gráfico para las redes de tráfico, y también la mayoría de los paquetes utilizan un método estadístico para distribuir el tráfico de vehículos a través de su red de tráfico. Si bien la aplicación de matrices OD es el enfoque más popular para definir rutas vehiculares en estas aplicaciones, encontramos que esta característica sea muy difícil de utilizar en algunos y muy fácil de usar en otros paquetes de software. Para explicar mejor los problemas que nos encontramos con la aplicación de la matriz OD tomamos ejemplos de Paramics Modelos y de SUMO. En el paquete Paramics Modelos, se crea la aplicación de la matriz OD a ser más visual y fácil de usar, mientras que en la aplicación de la matriz OD SUMO es más de escritura XML y utilizando la línea de comandos. Aplicación Matriz OD en Paramics Modelos se realiza mediante la edición de una tabla sencilla. Esta tabla,

mientras que se está editando, tiene una función de vista previa de la zona que estamos editando en el panel de visualización, colorear con color específico y señalando una flecha. De esta manera, el usuario puede ver muy claramente en qué área que él o ella es la definición de la oferta y la demanda de tráfico hacia y desde. Mientras que por otro lado, la aplicación matrix OD de SUMO era más escritura intensiva. Un usuario tiene que crear un archivo XML utilizando un patrón específico, a continuación, utilizando la línea de comandos mapa la matriz OD para crear una lista viaje que puede ser utilizado en la simulación para navegar por los vehículos a través de la red de tráfico. Nos pareció que el segundo enfoque sea más difícil de usar que el Paramics Modelos utiliza, sobre todo porque los usuarios tienden a comprender mejor algo que pueden ver como en el caso Paramics. Mientras que un XML también puede ser muy fácilmente legible y comprensible que todavía carece del efecto visual Paramics Modelos tiene y tener que escribir cada uno Identificación del distrito, y cada uno de origen y destino de Identificación sin cometer un error también puede llegar a ser una tarea difícil de por sí. Por lo tanto, hemos encontrado el enfoque de SUMO a ser mucho más difícil y menos fácil de usar de usar.

Simulación GUI y la calidad de la representación gráfica

Una de las mejores maneras para que un usuario no técnico para ver los resultados de una simulación de tráfico sea para ver la realidad de la simulación se ejecuta en tiempo real. Representación gráfica de la simulación de tráfico es un buen método para examinar qué es exactamente y en qué periodos de tiempo algo importante sucede. Este método también puede ayudar a determinar si hay un efecto positivo o negativo en el flujo de tráfico si algo cambia durante la simulación o hay alguna interrupción tipo en el patrón de tráfico. Diferentes paquetes de simulación incluyen diferentes representación gráfica de la simulación en curso, uno de los paquetes [12] Se revisaron también incluyó una simulación no gráfico que sólo 40 G. Kotusevski y KA Hawick produce archivos de salida y las estadísticas por el cual podríamos medir y determinar lo que ha sucedido dentro de la red de tráfico. Si bien todas las aplicaciones de simulación incluido algún tipo de representación gráfica de la simulación todavía existían grandes diferencias entre la calidad de estas representaciones. La distinción clave consistía en los gráficos que son dos o tres dimensiones. Tres [12, 14, 17] de los paquetes revisados tenidos sólo dos representaciones tridimensionales, mientras que los otros tres paquetes tenían también una opción para una simulación tridimensional. En cuanto a los dos previsualización dimensional de los paquetes de simulación que nos pareció que para ser un pájaro-vista normal de una red de tráfico con representación identificable bastante fácil de los diferentes vehículos. Sin embargo, hubo algunas diferencias entre las representaciones tridimensionales de los paquetes de software que incluyen esta función ([13, 15, 16]). Hemos encontrado que la Quadstone Paramics Modelos tenía la mejor representación gráfica de todos los paquetes. Incluía bibliotecas de texturas a utilizar para edificios de la ciudad, vehículos, peatones, etc., y por lo tanto haciendo la simulación parece mucho más realista que los otros paquetes. Paramics Modelos también tenía la función de un usuario para añadir tantas cámaras como sea necesario visualizar la simulación de diferentes puntos de referencia. El usuario realmente podría tener puntos de vista de todos los

puntos de interés dentro de la red de tráfico abiertas al mismo tiempo, mientras que la simulación se ejecuta y podría examinar con mucha claridad el patrón de flujo de tráfico a través de ellos.

El paquete Aimsun incluyó una vista previa de tres dimensiones básica de la simulación. También tenía la función para añadir tantas cámaras como sea necesario para capturar todos los puntos de interés de la red de tráfico, pero no incluía tantas texturas diferentes como el Paramics Modelos. Simulación de Aimsun también cayó en fotogramas por segundo rápidamente cuando se utilizó una vista previa tridimensional con múltiples puntos de vista.

SimTraffic de Trafficware sólo se incluyó un punto de vista de dos dimensiones, pero se mencionó en su manual de usuario que la aplicación es compatible con vista tridimensional. El explanaion dada en el manual aclarado que el software tiene la opción de guardar los datos de gráficos en un archivo S3D. Se dice que este archivo contenga la información necesaria para mostrar representación tridimensional de SimTraffic en un paquete de gráficos 3D. El archivo también incluye lugares vehiculares y peatonales en cada porción de tiempo y los datos geométricos de la red de tráfico simulado. Sin embargo, en la actualidad no hay ningún visor que soporta este formato de archivo disponible. Trafficware ha acordado proporcionar las especificaciones de formato de archivo S3D a petición de desarrolladores de software que deseen crear un visor 3D o una utilidad de conversión para convertir la información de gráficos 3D en otro formato de archivo.

Simulación de salida (datos y archivos)

Aunque después de una representación gráfica de una simulación de tráfico puede ser uno de los mejores métodos para determinar el flujo de tráfico a través de una red de tráfico específica, producción estadística siempre da información adicional que puede escapar el ojo humano durante la visualización de una ejecución en tiempo real de una simulación. Esta es la razón por la cual la mayoría de los paquetes de software revisados incluyeron algún tipo de archivos de salida o datos. Sin embargo, sólo pudimos investigar la salida de SUMO en toda su extensión, mientras que las versiones de demostración de las otras aplicaciones no incluyeron la producción estadística, que se decía que sólo se incluye en la versión completa de los productos. La siguiente lista incluye los enfoques que hemos encontrado en los diferentes paquetes de simulación:

SUMO - SUMO incluye salida de simulación a través de la generación de archivos de salida. Los archivos de salida contienen lo siguiente:

Volcado de estado

Red de un determinado momento del tiempo en la simulación;

- Lane / volcado Borde de un cierto punto del tiempo en la simulación; 42 G. Kotusevski y K.A. Hawick

- Detectores de volteo - detectores se utilizan para localizar un punto de interés dentro de este paquete de simulación. El uso de este archivo de salida crea un volcado de la zona específica donde se encuentra el detector;
- Estados emisiones de los vehículos y los tiempos de viaje en todo el Net - un archivo de salida que se trate con los estados de emisión de los vehículos que funcionan a través de la red de tráfico simulado y sus tiempos de viaje;
 - El vehículo orientado información del viaje - archivo generado a la salida de la información de las rutas de los vehículos dentro de la red de tráfico simulado;
- Salida acoplado a semáforos - archivo de salida generado para volcar ciertas acciones conectadas a los semáforos y cómo su patrón afectó el flujo de tráfico.

2. Quadstone Paramics Modelos - este paquete incluye herramientas para representar estadísticamente lo que sucede en la red de tráfico simulado. Las medidas incluidas en las aplicaciones de software incluyen colas patrones, picos y valles en la demanda, la velocidad, la densidad, la línea de visión, tiempo de viaje, etc. Además, todas estas herramientas pueden ser utilizadas durante el tiempo de ejecución por parte del usuario, por lo que él o ella podría calibrar el modelo "a la carrera". [13]

3. Paquete de simulación Aimsun - Aimsun incluye más de 20 diferentes estilos de vista de la representación gráfica de la información estadística sobre el tráfico y los eventos que ocurren en la simulación en curso de la red de tráfico. Sin embargo, no hemos podido investigar en la versión demo de la aplicación de software.

4. Paquete de simulación SimTraffic - SimTraffic de Trafficware parecía tener diferentes tipos de informes disponibles como salida de una simulación de la red de tráfico, pero de nuevo, no fueron capaces de investigar porque no se incluyeron en la versión demo de la aplicación.

5. CORSIM TRAFVU - este paquete de software,, es sólo un reproductor de gráfica para la previsualización de la simulación generada por el paquete CORSIM, por lo tanto, no se incluye ningún tipo de archivos de salida. Sin embargo, se observó que la versión completa del paquete TSIS CORSIM incluía algunas formas de representación y salida de archivos estadísticos de los resultados de una simulación de una red de tráfico determinado. Nos quedamos muy sorprendidos al descubrir que no hay ningún archivo o la salida estándar definido que todas las aplicaciones de simulación utilizan. Mirando desde el punto de vista del usuario, que sería muy útil para que exista esa norma porque los usuarios de los diferentes paquetes pueden compartir sus resultados y pueden comparar sus simulaciones utilizando diferentes paquetes con una salida consistente del mismo formato. Este es sin duda un tema que los productores de software de simulación de tráfico tienen que trabajar y acordar en el futuro.

Capacidad para simular muy grandes redes de tráfico

Paquetes de software de simulación de tráfico se utilizan sobre todo para simular y cambios en el plan dentro de una red de tráfico. A veces la red de tráfico que está siendo examinado pueda ser de una escala muy grande, como un centro de una gran ciudad o en

algunos casos incluso una ciudad entera, como se muestra en la Fig. 3. Por lo tanto, es importante para un paquete de tener la opción de simular muy grandes redes de tráfico con miles de carreteras y millones de vehículos que funcionan con ellos. La mayoría de las aplicaciones de software que revisamos tenía la capacidad de hacer frente a grandes redes de tráfico. Utilizando las versiones demo de [13, 15, 16, 17] que sólo eran capaces de estudiar los ejemplos que se incluyen con los paquetes instalados. Todos los ejemplos fueron las redes bastante pequeñas, con un poco más de los complejos. Como era de esperar, la más grande es la red de carreteras fue el más lento es el ran simulación de tráfico. Además, se espera una simulación para funcionar más lento cuando se utilizan modelos gráficos más complejos, pero en lugar de eso sólo tenía una velocidad de fotogramas más baja, mientras que la simulación se ejecuta a la velocidad deseada.

Las capacidades adicionales

Las características adicionales dan paquetes de software con procedimientos más útiles y acciones para el usuario más amigables. En los paquetes revisados se encontró una buena cantidad de capacidades adicionales disponibles. A partir de ejemplos incluidos con la instalación del software hasta los medios para grabar un video de una simulación en curso, estas características adicionales son lo suficientemente notable para proporcionar una mejor calidad de la utilización de software. Se ha encontrado las siguientes capacidades adicionales que eran vale la pena mencionar en los paquetes de simulación que revisamos:

- Ejemplos incluidos con la instalación - esta característica fue parte de todos los envases, salvo que el paquete Aimsun. Este vino a nuestra sorpresa porque Aimsun resultó ser el paquete más difícil empezar a trabajar (porque como ya se mencionó en la Sección. 4 en la página 37 no había ningún usuario presente manual con el software), por lo que espera que al menos tener algún tipo de redes de tráfico ejemplo para simular y recojan los resultados de. Además, los ejemplos no se incluyeron en el paquete CORSIM TRAFVU pero estaban disponibles para su descarga en el sitio web del software.
- Medios para convertir otros formatos de simulador de tráfico - que encontramos esta función en dos, [12, 15] de los paquetes revisados, y podrían convertir las redes de tráfico de la mayoría de los otros programas 44 G. Kotusevski y KA Hawick Figura 4: Paquetes de software CORSIM TRAFVU - red de simulación de tráfico de una de las redes de tráfico ejemplo disponibles en el sitio web TSIS CORSIM, el particular simulando un ejemplo de unión de espagueti [17] paquetes. Mientras que los otros cuatro paquetes no incluyen esta característica debido a diferentes razones. Podríamos predecir que Microsimulator de Treiber no se tiene esta característica debido a su escalabilidad no está cerca de ninguno de los otros paquetes. También sabíamos que CORSIM TRAFVU no tendría esta función debido al hecho de que este paquete es más que un entorno de visualización utilizado para obtener una vista previa y representar gráficamente la simulación ya

creado con el paquete de software CORSIM. Pero fue una sorpresa para nosotros que los otros dos paquetes [13, 16] no tienen esta característica.

- Diferentes sistemas de unidades y cambiar entre ellos - quizás no tan importantes para el usuario medio, pero sigue siendo una característica viable para un paquete de simulación de tráfico que estaba presente en tres de los paquetes revisados, pero en diferentes formas. Por ejemplo, el paquete de SUMO sólo incluía medios para convertir el valor predeterminado m / s unidad km / h; Quadstone Paramics por otra parte incluye tres sistemas diferentes en su paquete: Reino Unido, Estados Unidos y el sistema métrico decimal, que también eran parte del paquete Aimsun. Sin embargo, los otros tres paquetes de simulación no tenían esta característica donde sospechamos que para [16] y [17] esto se debe al hecho de que hemos estudiado sólo su versión de demostración, mientras que para [14] Esta función no está disponible debido a la simplicidad de este proyecto de software.

- Simulación de diferentes tipos de vehículos - todos los paquetes revisados incluye esta característica, algunos de ellos en la versión más compleja, mientras que algunos en una versión bastante simplista. Para dar un ejemplo, utilizando el Paramics Modelos podríamos utilizar una biblioteca de diferentes vehículos, pero también podríamos definir nuestros propios vehículos mientras ingresa el tipo, tamaño, peso, color y otras características del vehículo definida por el usuario. La versión simple de diferentes tipos de vehículos se utiliza en microsimulación de Treiber que sólo incluye dos tipos de vehículos: automóviles y camiones, una vista previa de ellos se ve en la figura. 5. Una revisión de Tráfico Software de Simulación 45 Figura 5: microsimulación de Treiber de tráfico de camino - que ilustra el uso de diferentes tipos de vehículos utilizados en la simulación: automóviles y camiones. Los coches se representan con rectángulos más pequeños de color rojo, mientras que los camiones son rectángulos más grandes en el color negro [14]

- Medios para configurar semáforos - mientras que todos los paquetes incluyen alguna versión de semáforos configurables encontramos algunos a ser difícil de estructura. Como ejemplo de los semáforos dificultad configurables mencionamos el paquete SUMO ya componer el patrón semáforo en SUMO se realiza manualmente (a mano) la escritura en un archivo XML (como la mayoría de las características de este paquete). Como era de esperar, no fuimos capaces de estudiar cualquiera de los medios para configurar los semáforos en las versiones de demostración de los otros paquetes de software, mientras que Microsimulator de Treiber incluyó un escenario semáforos en sus escenarios predefinidos, pero no fue posible configurar el patrón de las luces.

- Medios de añadir el transporte público y el transporte público se detiene - un factor clave en el tráfico urbano, los atascos y congestiones es, sin duda, el transporte público de la ciudad. Como tal, la función para añadir el transporte público es de gran importancia para la aplicación de simulación de tráfico. Mediante la adición de autobuses, trenes, tranvías, etc. a la red de tráfico de un usuario puede ver cómo afectan el flujo a través de

la red y qué se puede hacer para mejorar este flujo si no es en el nivel deseado. Se encontraron cuatro [12, 15, 13, 17] de las aplicaciones revisadas para tener esta característica disponible. Sin embargo, sólo hemos podido estudiarlo en SUMO y Aimsun, mientras que esta característica no era parte de las versiones de demostración de Paramics Modelos y CORSIM TRAFVU. Además, no hemos podido encontrar presencia de esta característica en el paquete SimTraffic, pero sospechamos que esto se debe a la versión revisada de ser sólo una demo. Además, microsimulación de Treiber no incluyó un escenario de transporte público para ser estudiado.

- Medios de redireccionamiento del vehículo o el cierre de una calle - una característica específica que se puede ver un montón de uso en la simulación de tráfico durante las obras viales. Uso de vehículo reencaminamiento un usuario puede simular y determinar el flujo de tráfico en las condiciones específicas que requieren cambio de ruta de vehículos mediante el cierre de una calle. Tres de las versiones de demostración que revisamos [13, 16, 17] mencionó para incluir esta característica en la versión completa del paquete de software, pero no fueron capaces de investigarlo. Sin embargo, 46 G. Kotusevski y K.A. Hawick fueron capaces de estudiarlo en SUMO y Aimsun. El paquete incluye SUMO vehículo mediante el redireccionamiento (habitual para esta aplicación) configuración manual de cambio de ruta en un archivo XML; mientras que el paquete Aimsun incluido esta función mediante la configuración de escenarios específicos.
- Medios para restringir el acceso por carretera en función del tipo de vehículo / clase - muy similar a la función de cambio de ruta, pero depende del tipo de vehículo. Una vez más una característica que se puede utilizar para planificar futuras adiciones de carretera a una red de tráfico y determinar el impacto que tendría sobre el flujo de tráfico si diferentes tipos de vehículos se restringieron en no usar la nueva carretera. La comparación de las diferentes aplicaciones para esta función recibimos exactamente el mismo resultado que en la función de vehículo de transporte alternativo. Tres [13, 16, 17] de los manuales de aplicaciones de demostración de los usuarios señalaron una vez más que esta característica fue incluida en sus versiones completas, mientras que el paquete de SUMO y Aimsun tenía la configuración XML habitual y configuración escenario específico de la carretera de acceso para los diferentes tipos de vehículos, respectivamente.

- Apoyo para la conducción de la derecha y la izquierda - esta característica es muy importante para ampliar el potencial de la piscina de usuario de aplicación de simulación de un tráfico. Soporte para conducir la mano derecha e izquierda asegura el paquete sea utilizable por un usuario desde cualquier país del mundo, mientras que el apoyo de sólo un lado restringe esta piscina sólo a parte de los países del mundo. Habiendo mencionado, encontramos dos [13, 15] de los paquetes revisados para incluir esta característica incluso en sus versiones de demostración, mientras que nosotros no pudimos localizar esta característica dentro de los paquetes SimTraffic y CORSIM. Además, encontramos esta característica para ser uno de los pocos que no estaban disponibles en el paquete de SUMO, mientras microsimulación de Treiber no incluyó esta

característica porque todos los escenarios incluidos en esta solicitud contenían sólo en sentido único.

- Medios para grabar un video de la simulación en curso - una característica muy útil para aplicaciones de simulación de ordenador cuando el usuario necesita tener un vídeo como una salida de una simulación de la red de tráfico particular. Sin embargo, sólo encontramos esta función en dos de los paquetes de software revisados [13, 16]. Mientras que en Paramics Modelos pudimos grabar un vídeo y codificar utilizando cualquiera de los codecs instalados en el ordenador, grabación de vídeo de SimTraffic solamente fue mencionado como parte de la versión completa de la aplicación. Los otros cuatro paquetes no incluyen medios para grabar un video de la simulación en ejecución.
- Medios para imprimir y captura la visión actual de la simulación - similar a la grabación de una función de vídeo, sino simplemente la impresión o screenshoting un marco particular de la simulación en curso. Sin embargo, esta característica se incluyó en más paquetes que la grabación de vídeo. Encontramos a disposición de cada cuatro [13, 15, 16, 17] de los paquetes revisados (incluso en sus versiones de demostración); mientras que esta característica no estaba disponible en el SUMO y paquetes de microsimulación de Treiber.
- Simulación de peatones - esta característica es sin duda muy importante en la simulación de tráfico de la ciudad, especialmente en las zonas donde hay gran densidad de peatones que se mueven bien en las aceras o cruzar las calles. Encontramos esta característica disponible en tres [13, 15, 16] de los paquetes de simulación revisados. No hemos podido estudiar la versión demo de CORSIM si esta función está disponible, mientras que SUMO y paquetes Microsimulator de Treiber no incluyen esta característica en sus aplicaciones a todos.

Rendimiento de la CPU y la memoria

Revisamos estos paquetes de simulación utilizando un ordenador portátil con procesadores Intel Core 2 Duo Extreme funcionando a 2,8 GHz con 6 MB de memoria caché y 2 GB de memoria RAM. Lengüeta. 1 proporciona información sobre el rendimiento de la CPU y la memoria de las aplicaciones de software mientras estaban simulando activamente una red de tráfico. Una revisión de software de simulación de tráfico 47 Tabla 1: CPU y microsimulación rendimiento Memoria SUMO Paramics Modelos de Treiber del tráfico rodado Aimsun SimTraffic CORSIM TRAFVU uso de la CPU entre 5-17%, dependiendo del número de vehículos que se están ejecutando en la red de tráfico constante 50% N / A entre el 25-40%, dependiendo del número de vehículos y el escenario simulado Actualmente constante 50% de uso de la memoria entre 12 a 16 MB, dependiendo de la red de tráfico entre 40 a 140 MB, dependiendo de la red de tráfico y los modelos gráficos utilizan N / A entre 30 a 40 MB, dependiendo de la red de tráfico alrededor de 35 MB, no depende tanto de la red de tráfico simulado Entre 28 a 32 MB,

dependiendo de la red de tráfico. Nuestras pruebas confirmaron nuestras expectativas. Se esperaba que las simulaciones con la mejor representación de gráficos para utilizar más memoria que las otras simulaciones que utilizan solamente 2D o pobres representaciones gráficas 3D. En cuanto al uso de la CPU, se espera que la mayoría de los simuladores de tener un 50% de uso de CPU, nos enteramos de que la mitad de los simuladores revisados que utilizar un procesador a su potencial de 100%.

Métrica

El estudio y la investigación de los ingenieros de tráfico ayudan enormemente en la determinación de parámetros de tráfico y las medidas que sean viables para ser utilizado para examinar los resultados de una simulación de tráfico. Investigadores del sistema de tráfico introducen variedad de parámetros de tráfico e indicadores cuantificables de uso común en el análisis de tráfico y la modelización del tráfico actual. En la siguiente lista se introduce por Taylor et al. en su comprensión de los sistemas de tráfico [18]; hemos esbozado las medidas, que forman los elementos básicos para el análisis de tráfico, y al mismo tiempo son de interés para nosotros en la determinación y evaluación de los diferentes algoritmos de navegación que estudiamos con el fin de lograr el flujo de tráfico deseada.

- Flujo de tráfico o Volumen - Número de vehículos por unidad de tiempo
- Velocidad - Tiempo por unidad de longitud
- Concentración o Densidad - Vehículos por unidad de longitud. Adicionalmente, Mannering et al. en sus Principios de Ingeniería de Carreteras y análisis de tráfico [19], proporcionan ecuaciones matemáticas y explicaciones de los parámetros de tráfico, tales como
- Tiempo Headway para un vehículo particular, t_i - Tiempo transcurrido entre la llegada de los vehículos i e $i - 1$
- G - G. Kotusevski y KA Hawick
- Tiempo promedio Headway - el recíproco del flujo de tráfico o volumen
- Separación - Longitud de las carreteras entre vehículos sucesivos
- Espaciado Promedio - El recíproco de la densidad del tráfico
- Velocidad media de tráfico - Definido de dos maneras diferentes: - velocidad de Time-media - la media aritmética de las velocidades de los vehículos observados en algún punto designado a lo largo de la calzada - Velocidad Espacial-media - determinado sobre la base del tiempo necesario para que un vehículo para viajar cierta longitud conocida de carretera todos los cuales se utilizan para explicar la relación entre las tres mediciones básicas con más detalle. Taylor et al. también mencionar la relación entre los tres parámetros básicos que se utilizan para describir un flujo de tráfico. Presentan esta relación en la ecuación siguiente, que también se deriva de las ecuaciones dadas en la obra de Mannering et al. y Haberman en sus modelos matemáticos [20]. $q = KVS$ (1) Eq. 1 nos da la q el flujo de tráfico como un producto de la k densidad y el V de velocidad (velocidad espacial media). Además, Mannering et al. dar una categorización de los indicadores con el fin de asociarlos con el nivel adecuado de investigación. Se refieren a avanzar medio tiempo y espaciamiento medio como mediciones microscópicas, mientras

que las métricas tales como el flujo de tráfico, la velocidad media y la densidad del tráfico se dice que son mediciones macroscópicas. [19] También indican que las medidas microscópicas pueden estar relacionados con las medidas macroscópicas como se indica en su estudio sobre las mediciones de tráfico, y también con el apoyo de la labor de Taylor et al. y Haberman. Sin embargo, la ecuación. 1 generalmente se aplica únicamente al tráfico ininterrumpido, tales como los flujos de tráfico en las principales carreteras y autopistas, pero se señala por Mannering et al. que también es aplicable a interrumpe el flujo de tráfico, pero que no son complejidades adicionales implicados. Ellos van más allá para explicar los conceptos clave y las medidas utilizadas en el análisis de flujo de tráfico interrumpido como en una intersección señalizada. A continuación se presenta una lista de medidas, según lo dado por Mannering et al. [19], lo que vamos a utilizar para preparar y examinar nuestros algoritmos de navegación de tráfico.

- Saturación Velocidad de flujo - el volumen por hora máxima que puede pasar a través de una intersección, a partir de un carril o grupo de carriles, si ese carril (o carriles) se asignaron luz verde constante en el transcurso de un tiempo de horas
- Perdida - la porción de la longitud del ciclo que no está siendo completamente utilizada. En otros términos, porque los suplentes semáforo el derecho de paso entre los movimientos en conflicto, los flujos de tráfico se inician de forma continua y se detuvieron. Cada vez que esto sucede hay un retraso debido a los conductores reaccionan al cambio de señal de semáforo. Este retraso en el comienzo y el final de los resultados de intervalo de señal de verde y amarillo en una porción de ese intervalo para no ser completamente efectivos. Este retraso se conoce como tiempo perdido
- El Tiempo Verde eficaz - el tiempo durante el cual un movimiento de tráfico está utilizando con eficacia la intersección
- El Tiempo Rojo eficaz - el tiempo durante el cual un movimiento de tráfico no está utilizando con eficacia la intersección
- Capacidad - el máximo por hora volumen que puede pasar a través de una intersección de una calle o de un grupo de carriles bajo la calzada, el tráfico y las condiciones de control que prevalecen Una revisión de software de tráfico Simulación 49 La medida de la capacidad es esencialmente uno de los más importantes para nosotros, ya que proporciona los medios para calibrar el tráfico intervalos de luces, de tal manera que vamos a lograr un flujo de tráfico deseado en todas las direcciones, lo que nos da una forma de minimizar la congestión del tráfico, colas y tiempos de espera. $c = s g C$ (2) Eq. 2 da la capacidad de c (por lo general en vehículos por hora) como el producto de la velocidad de flujo de saturación (s vehículos por hora) y la relación entre el tiempo eficaz g verde y el tiempo de ciclo C (ambos de los cuales por lo general dada en segundos). Por lo tanto, el ajuste del intervalo de semáforo podemos influir en la capacidad de una determinada intersección y llevarlo al nivel deseado para que pueda mantenerse al día con la afluencia de tráfico que pasa a través de la intersección. Por otra parte, al igual que las intersecciones, carreteras también tienen un valor que nos referimos como un valor la capacidad vial. Consideramos que el valor para coincidir con el punto de máximo flujo de tráfico de una carretera

Análisis de Decisión y Resolución (DAR)

Problema: *Seleccionar una alternativa de simulacion de transito*

Peso (Rankings de importancia de criterios)
 En orden de priorizar los factores fueron clasificado en 3 categorias:
 Low (0-3)
 Medium (4-7)
 High (8-10)

Evaluation Criteria	Weight	Alternatives									
		Sumo		Vissim		Quadstone Paramics		Trafficware SimTraffic		Aimsun	
		Score	Subtotal	Score	Subtotal	Score	Subtotal	Score	Subtotal	Score	Subtotal
Portabilidad sistemas operativos	9	10	90	7	63	7	63	5	45	10	90
Documentacion y Interfaz de usuario	9	9	81	10	90	8	72	8	72	8	72
Product Support	8	5	40	5	40	9	72	9	72	5	40
Informacion de salida de la simulacion	9	9	81	6	54	3	27	6	54	8	72
Habilidad de simular grandes redes de transito	7	7	49	6	42	7	49	6	42	7	49
Total Evaluation scores ->	420		341		289		283		285		323
Total Evaluation percentage ->	100%		81,19%		68,81%		67,38%		67,86%		76,90%

5.0 VERIFICACION EXPERIMENTAL

En este capítulo se presenta: una descripción general de la forma en que se llevaron a cabo los experimentos; se analiza la forma en que se definió la red de tránsito y los valores iniciales para la simulación, se estudian los resultados obtenidos al aplicar algoritmos para la definición de los tiempos en los semáforos de acuerdo a la cantidad de tránsito.

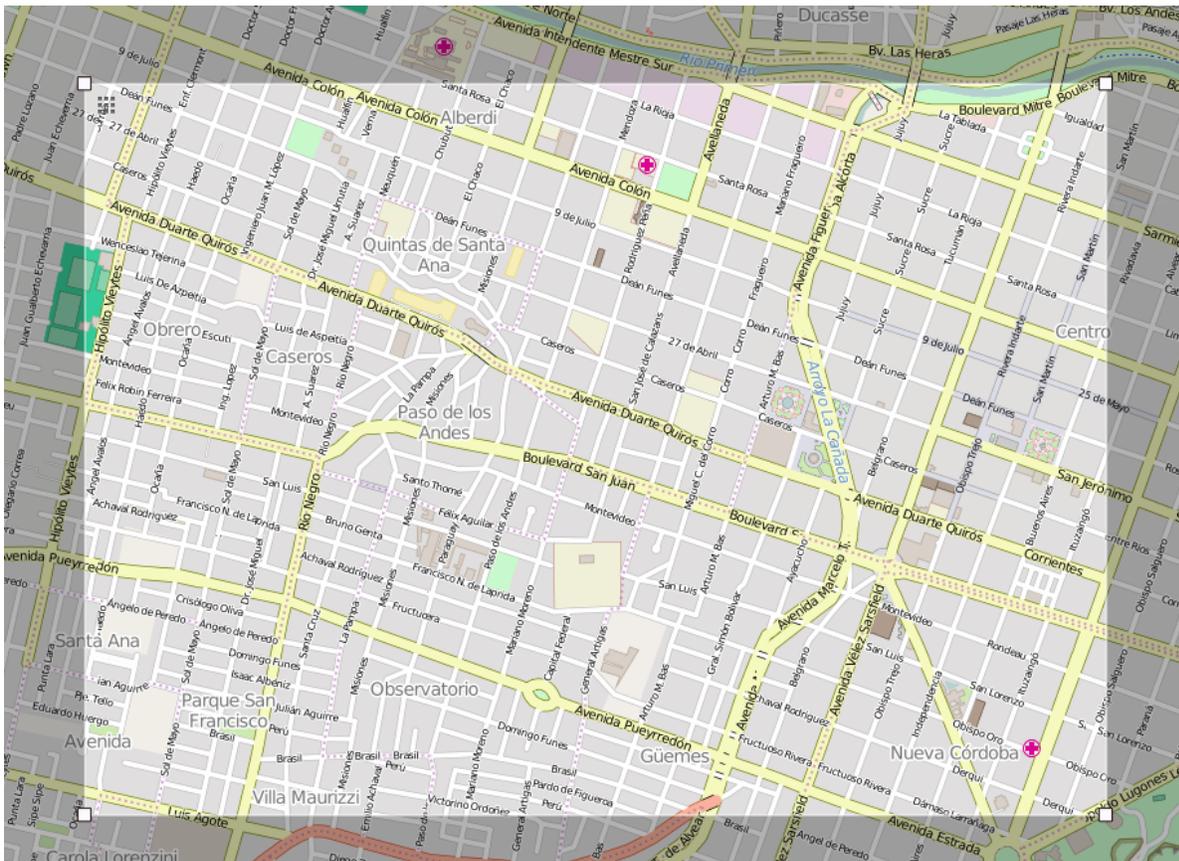
5.1 Preparacion de la simulación en SUMO

5.1.2 Configuración del escenario

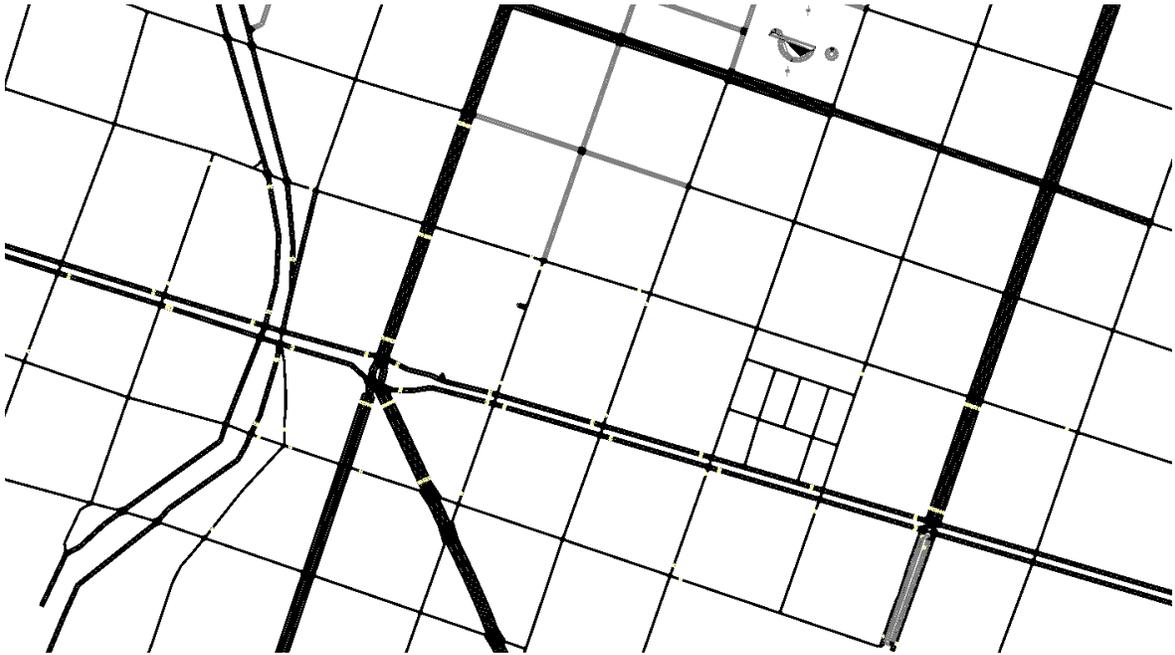
Red SUMO

Se definió un área del casco de céntrico de Córdoba, tomando esta como escenario de la simulación, se exportó la red de tránsito utilizando NETCONVERT. Se ajustó las definiciones de tiempo fijo de los semáforos acordes a la realidad.

OpenStreetMap



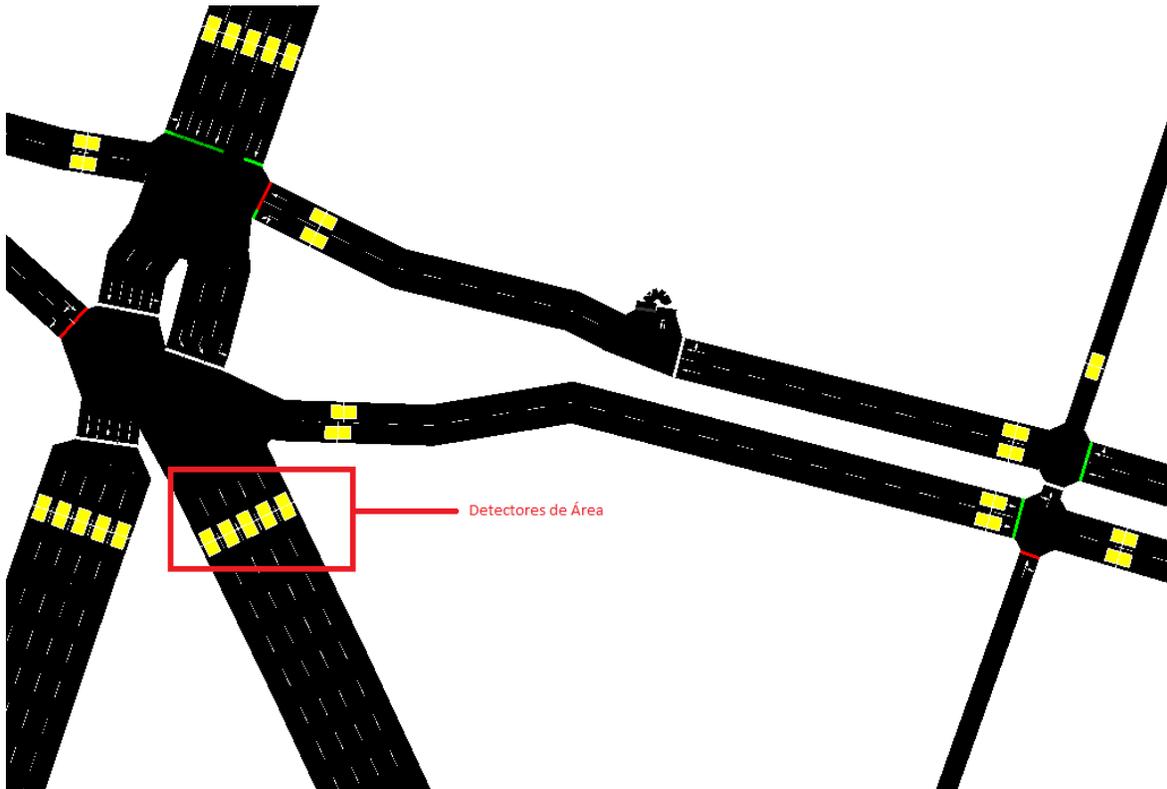
Sumo network



Implementación de los sensores OIS (Optical Information System)

Los sensores OIS fueron simulados utilizando detectores de área ubicados en todos los carriles delante de las intersecciones. Además de la longitud de atasco en metros, otros valores se recogen, tales como la longitud atasco en vehículos, el número de vehículos, el grado de ocupación, los vehículos, velocidad, las duraciones vacilantes, entre otros.

Detectores de área SUMO



Implementación del Algoritmo de control de Semáforos

El control de semáforos se implementó extendiendo la implementación de SUMO para el control de la lógica de tránsito en semáforos. Para llevar esto a cabo se extendió la interfaz TRACI. Traci es el acrónimo para "Interfaz de Control de Tráfico". TRACI permite recuperar los valores de los objetos simulados y manipular su comportamiento "on-line". La interfaz de la aplicación se cambió de manera de modificar las fases de los semáforos de acuerdo a la cantidad de tránsito en cada nodo.

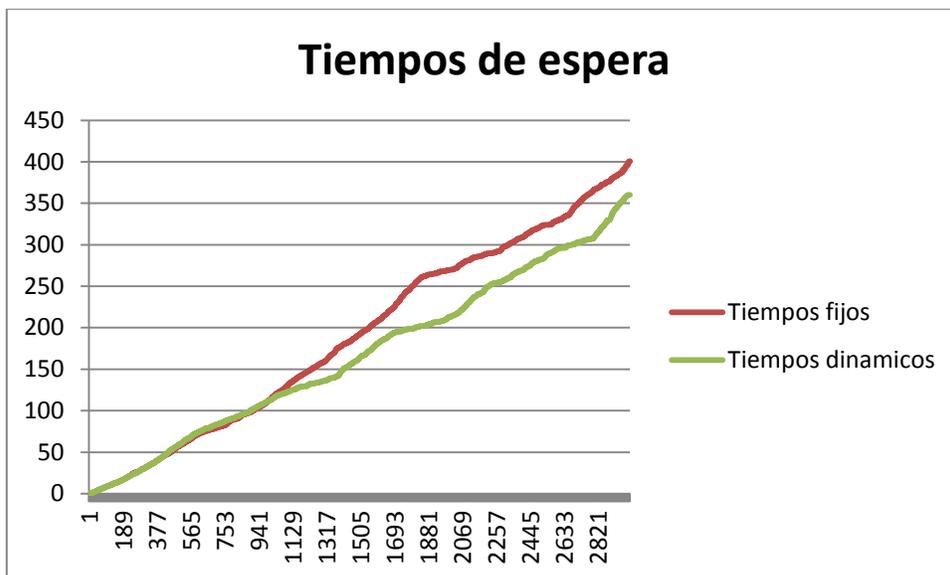
Pasos ejecutados por el algoritmo:

- a) Registro de Vehículos: durante la primera etapa de la fase P, cada Nodo cuenta las llegadas mediante los sensores.
- b) Conteo: detectores comparan las llegadas y salidas a fin de evaluar el número restante de vehículos que cada movimiento (s, d) contiene en sus carriles

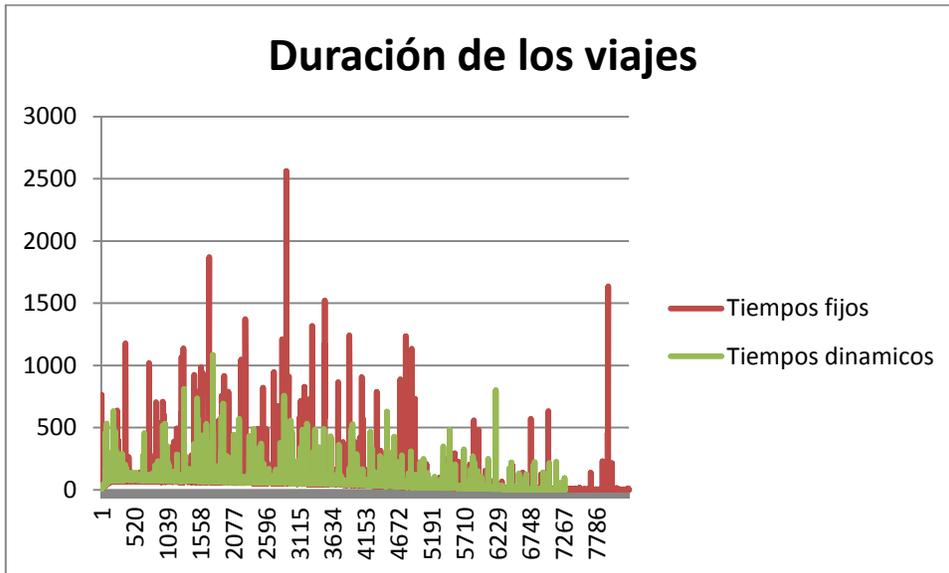
- c) Definición de la fase siguiente: una vez ha recibido datos de todos los detectores se definen las fases de tiempo de cada semáforo de acuerdo a la magnitud de tránsito de cada uno de los nodos que componen la intersección.
- e) Aplicación de fase: el nodo maestro envía la fase al control que arranca el sistema especificado de luces durante el tiempo especificado. Esto marca el comienzo de la fase.

Parametros de salida de la simulación

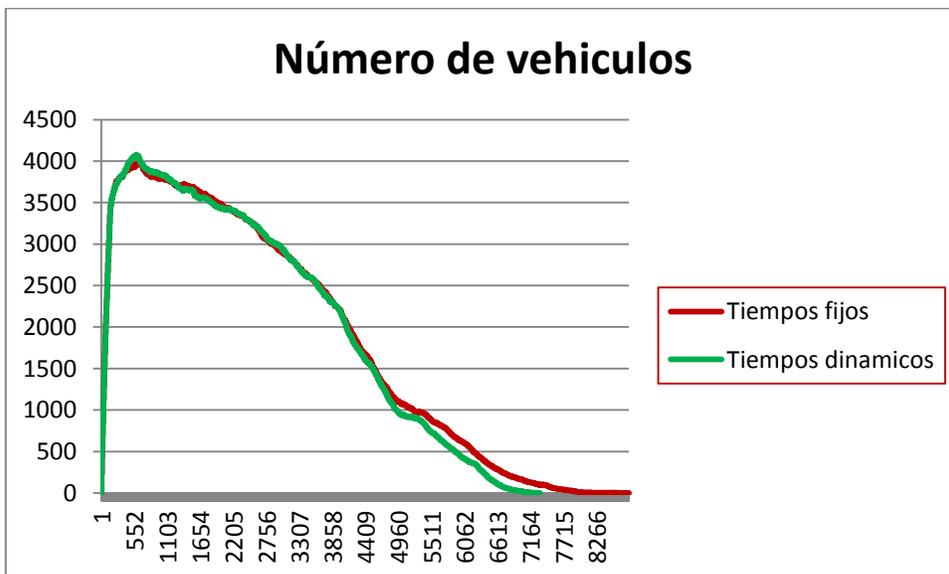
Tiempos de espera



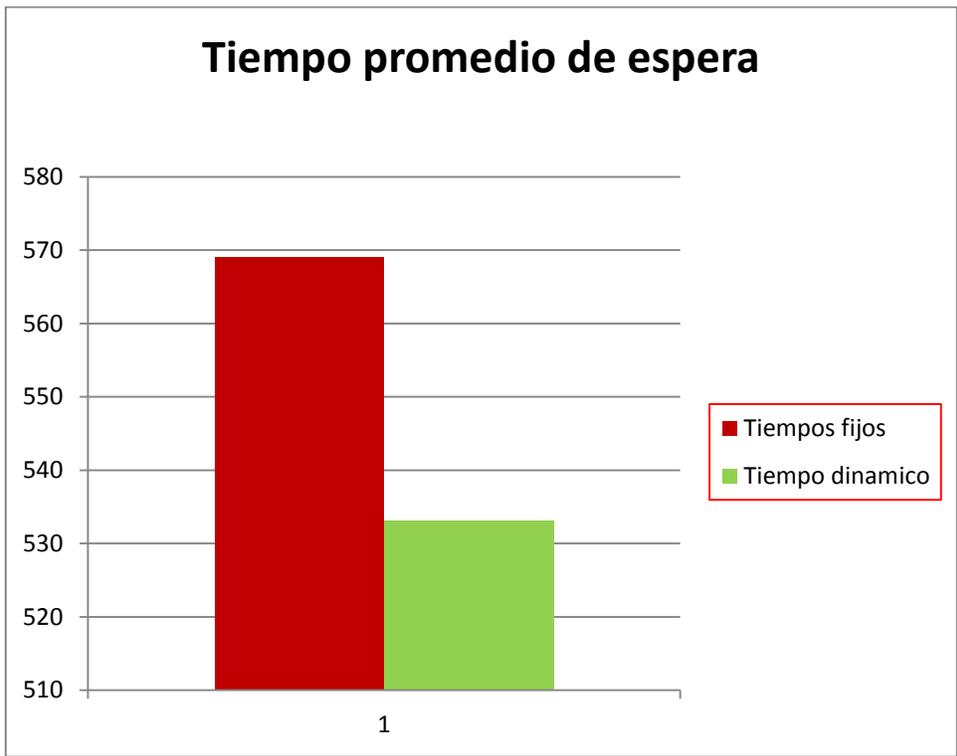
Duración de viajes



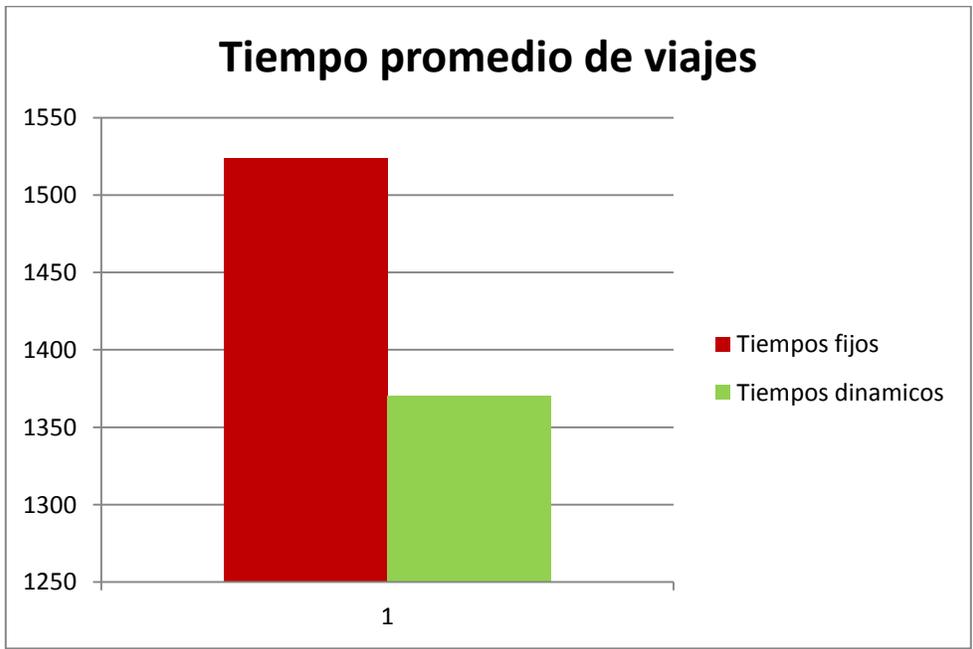
Número de vehículos



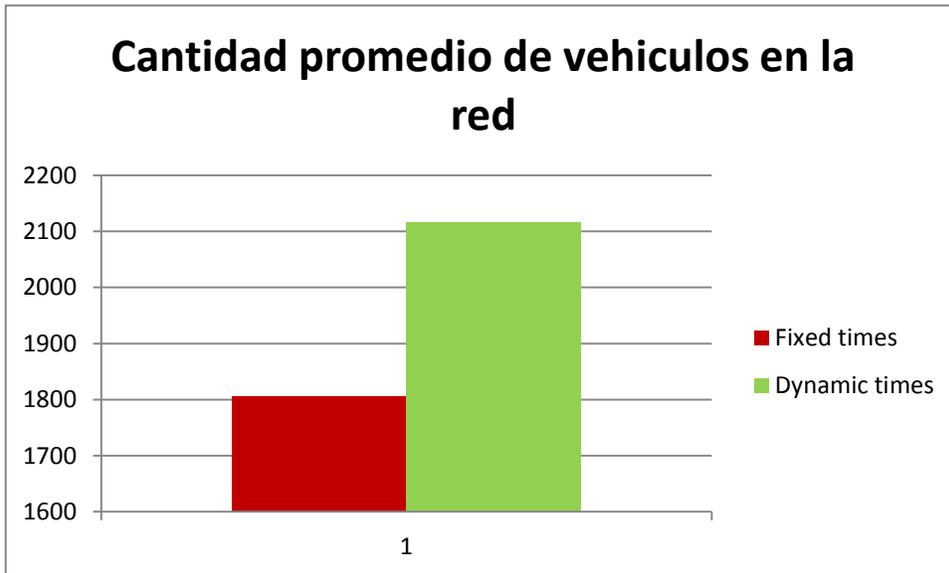
Tiempo promedio de espera



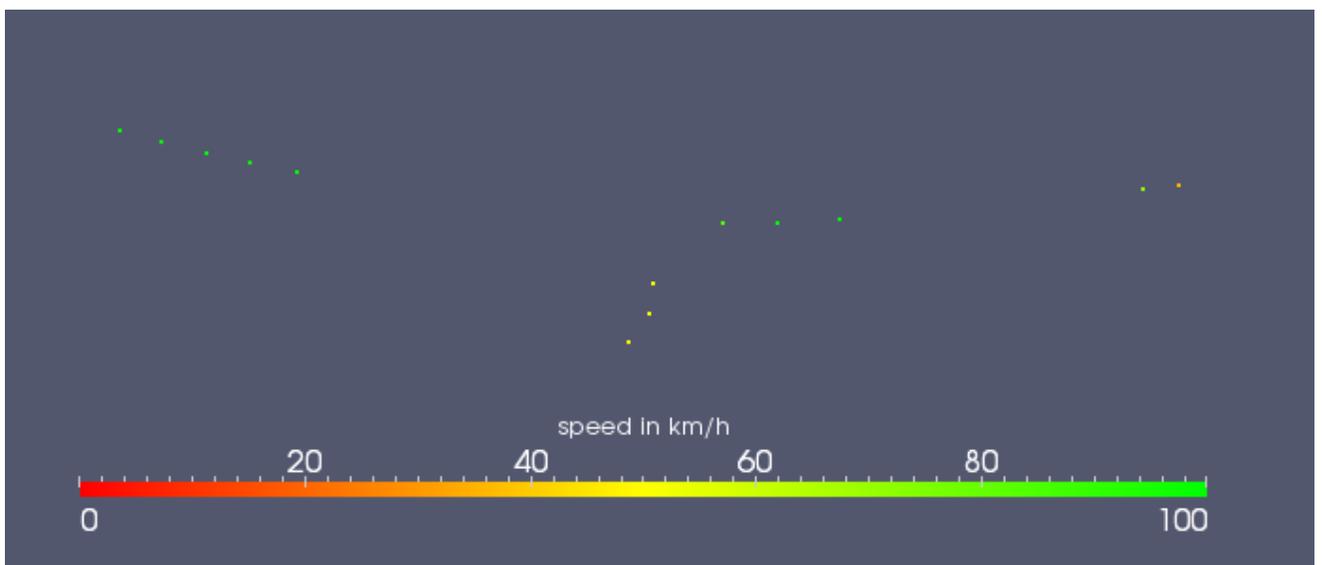
Tiempo promedio de viajes



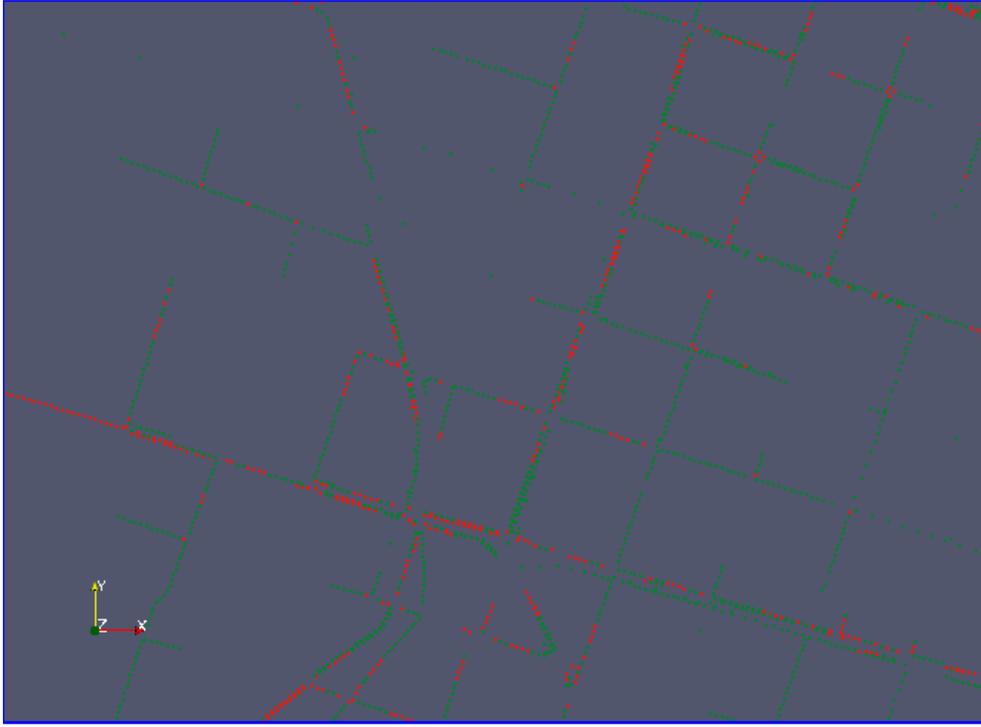
Cantidad promedio de vehículos en la red



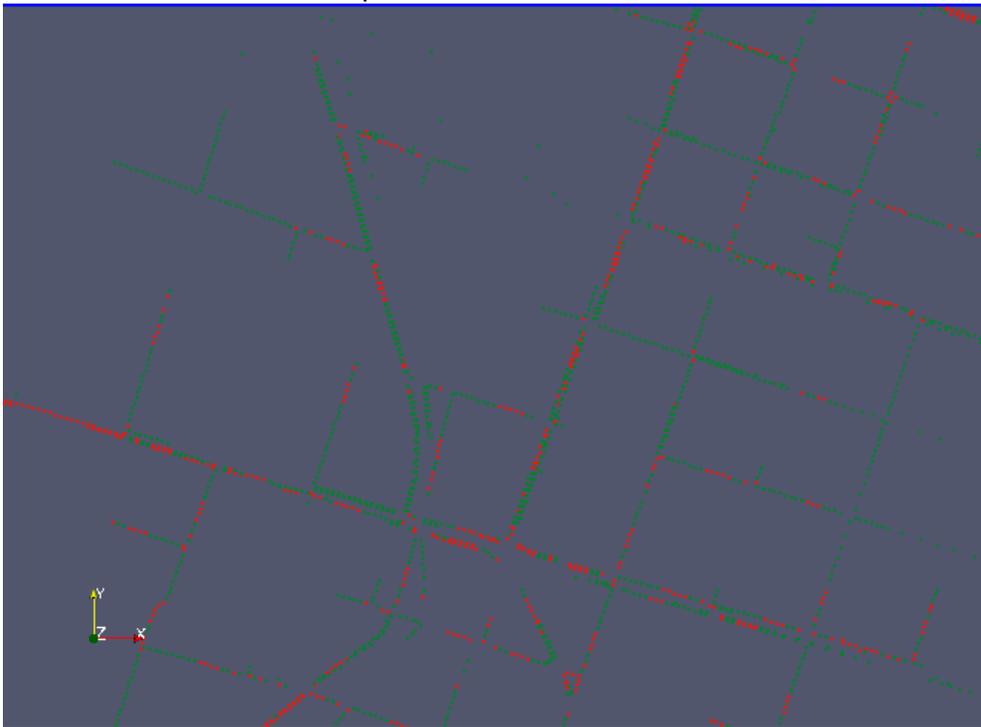
VTK output: Cada vehículo es presentado por un solo punto. En el VTK el archivo de los vehículos se almacenan en 3 dimensiones del sistema de coordenadas, este además contiene la velocidad media de cada punto en un tiempo determinado:



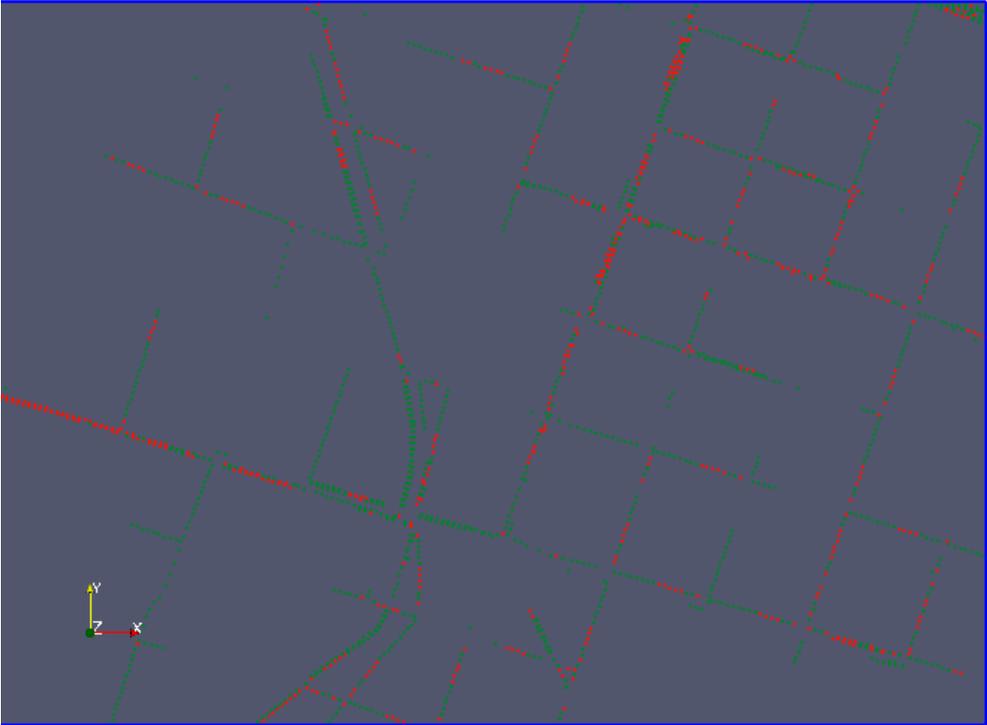
Simulación a los 1000s tiempo fijo



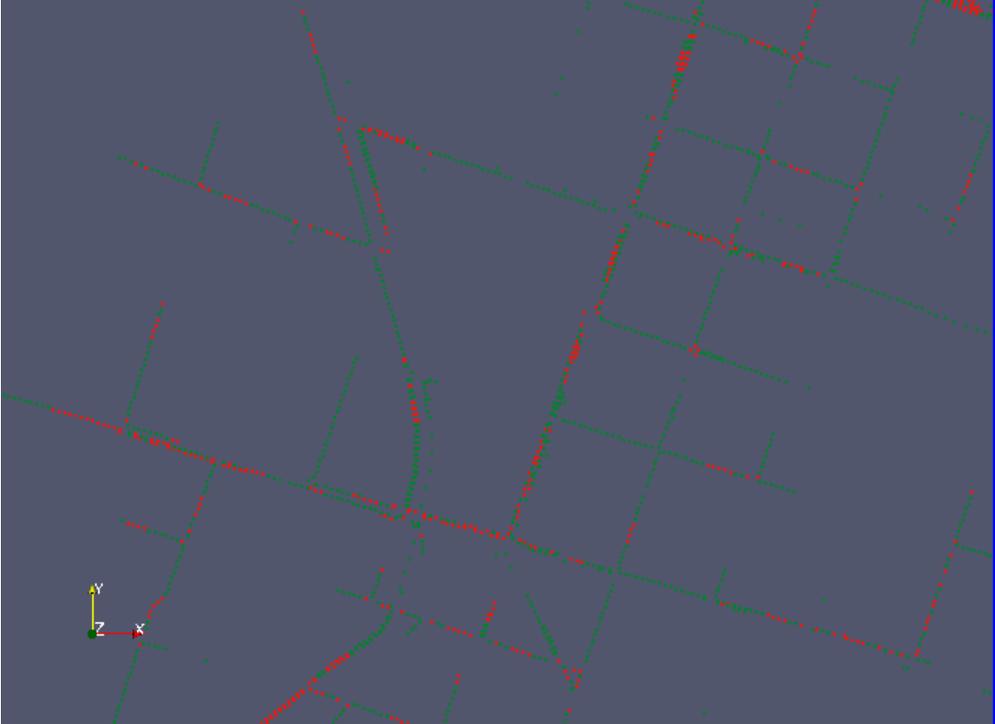
Simulación a los 1000s tiempo dinamico



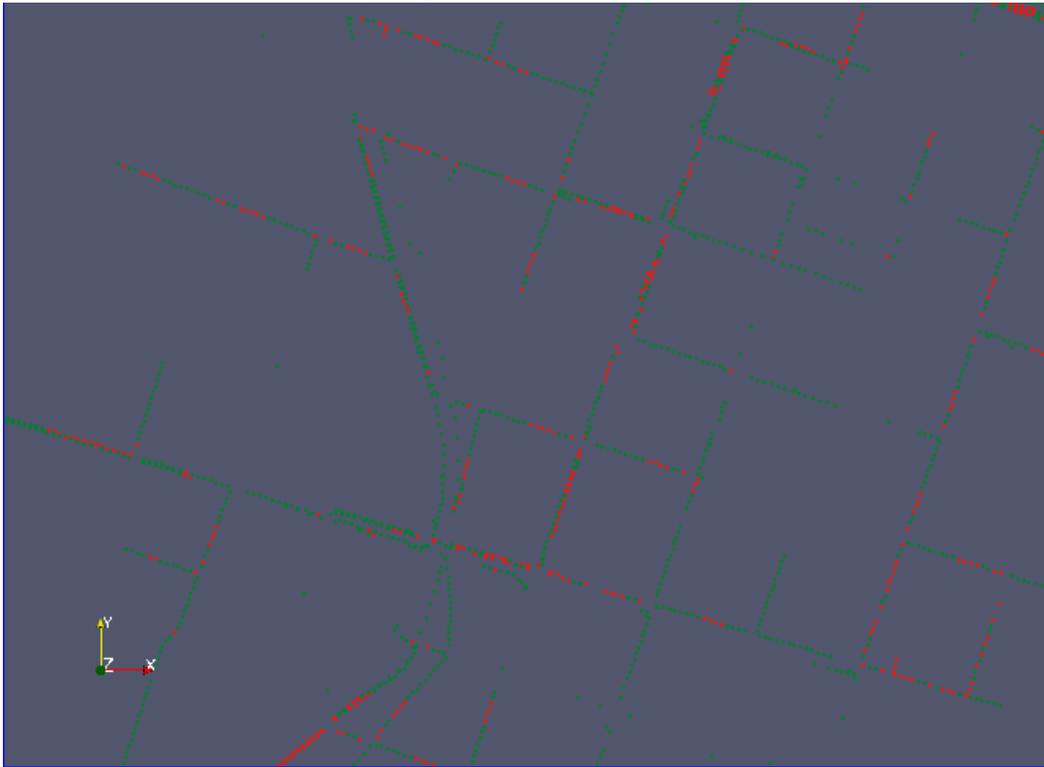
Simulación a los 2000s tiempo fijo



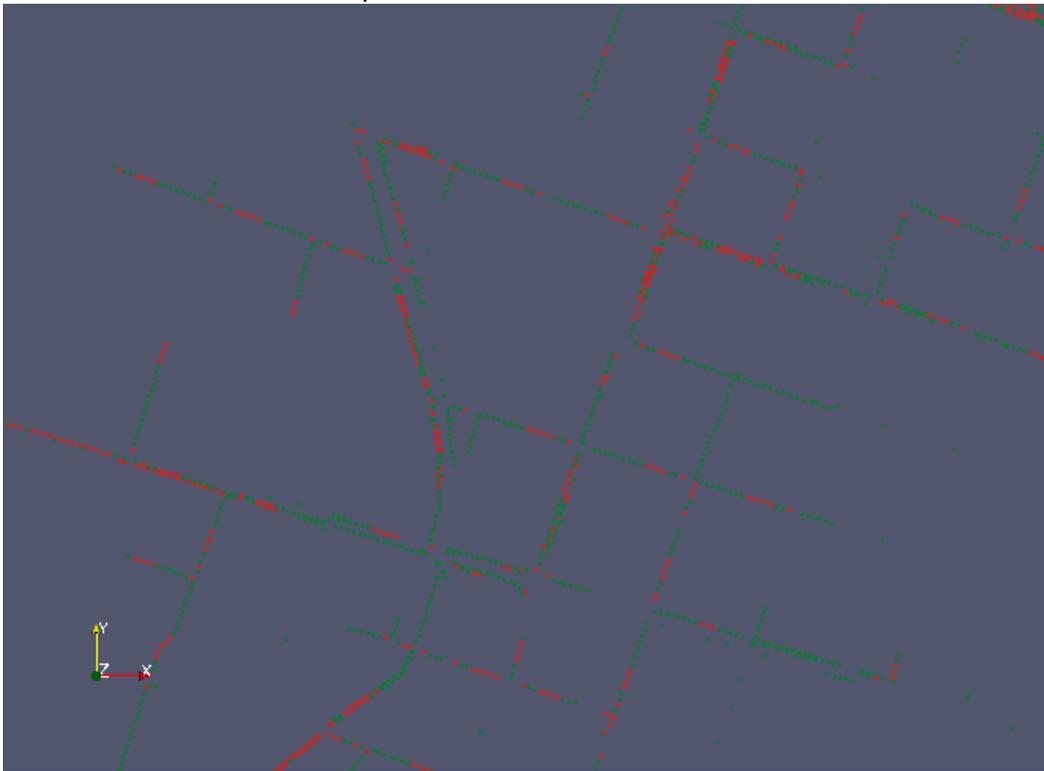
Simulación a los 2000s tiempo dinamico



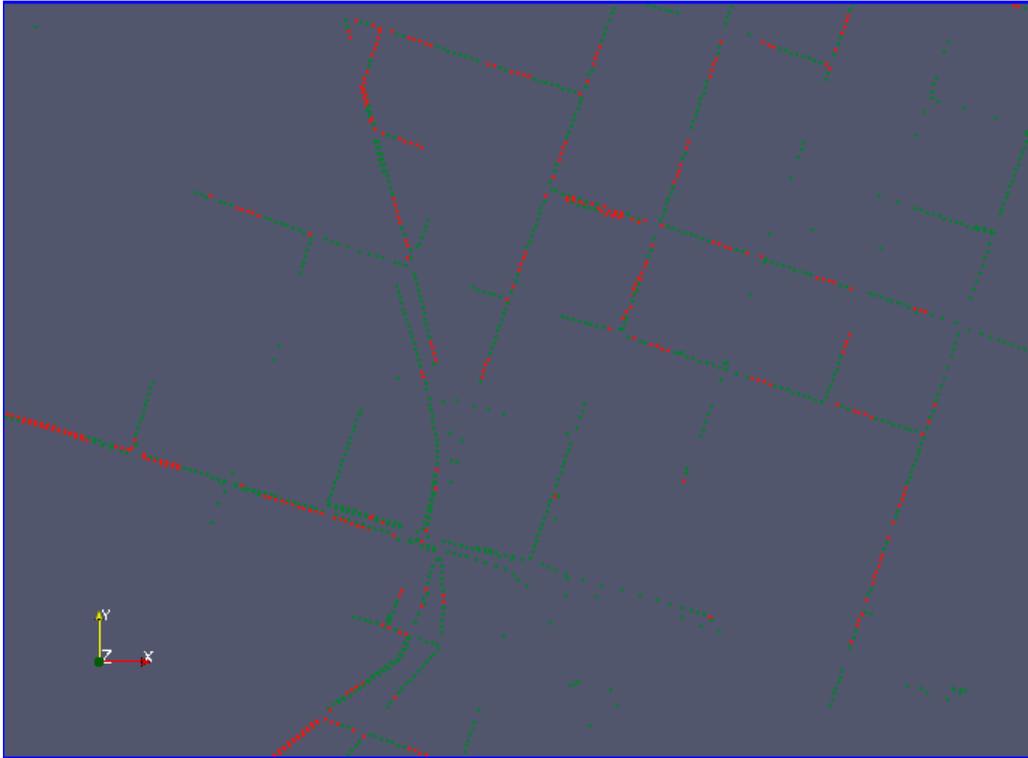
Simulación a los 3000s tiempo fijo



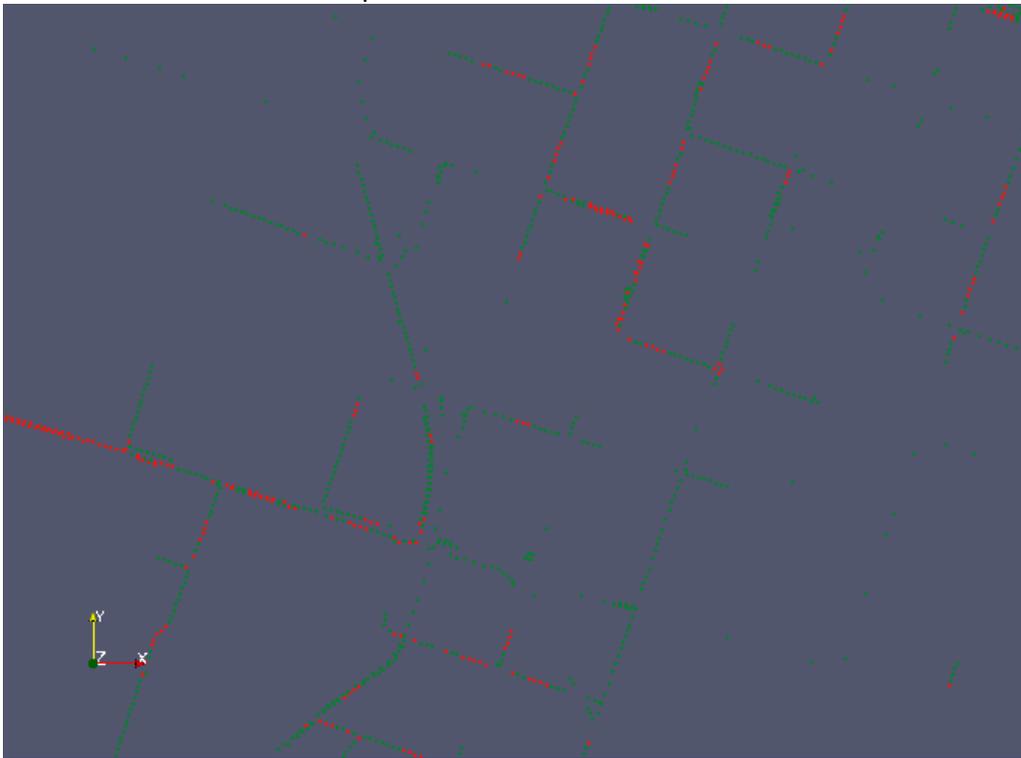
Simulación a los 3000s tiempo dinámico



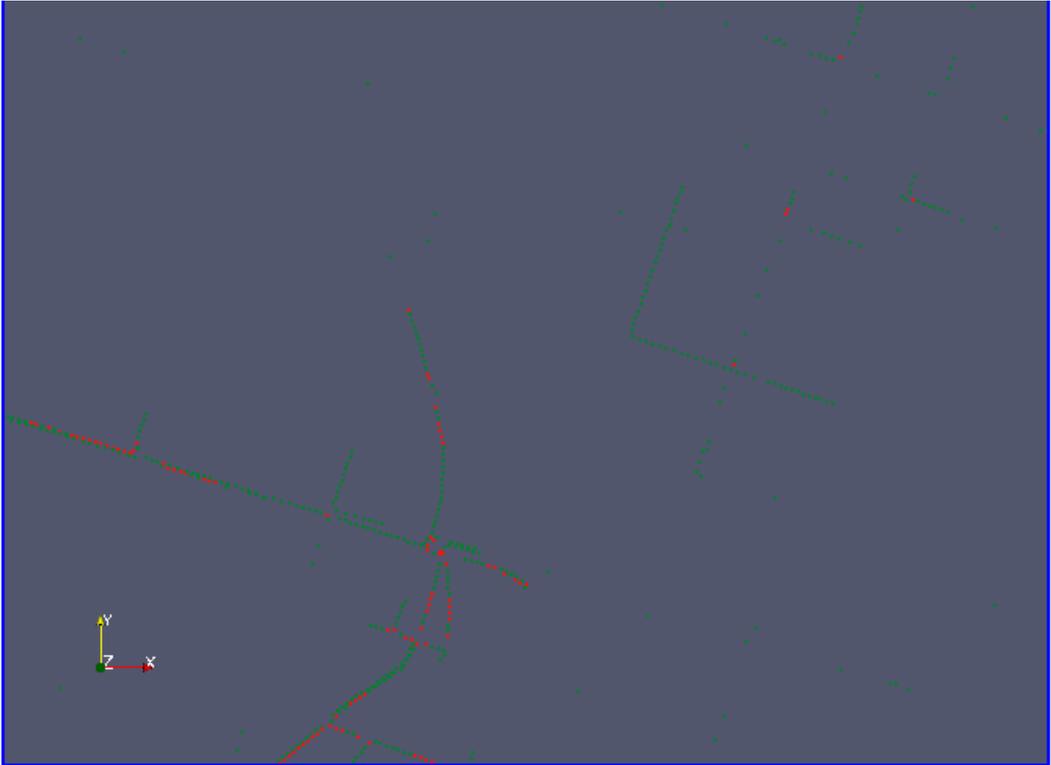
Simulación a los 4000s tiempo fijo



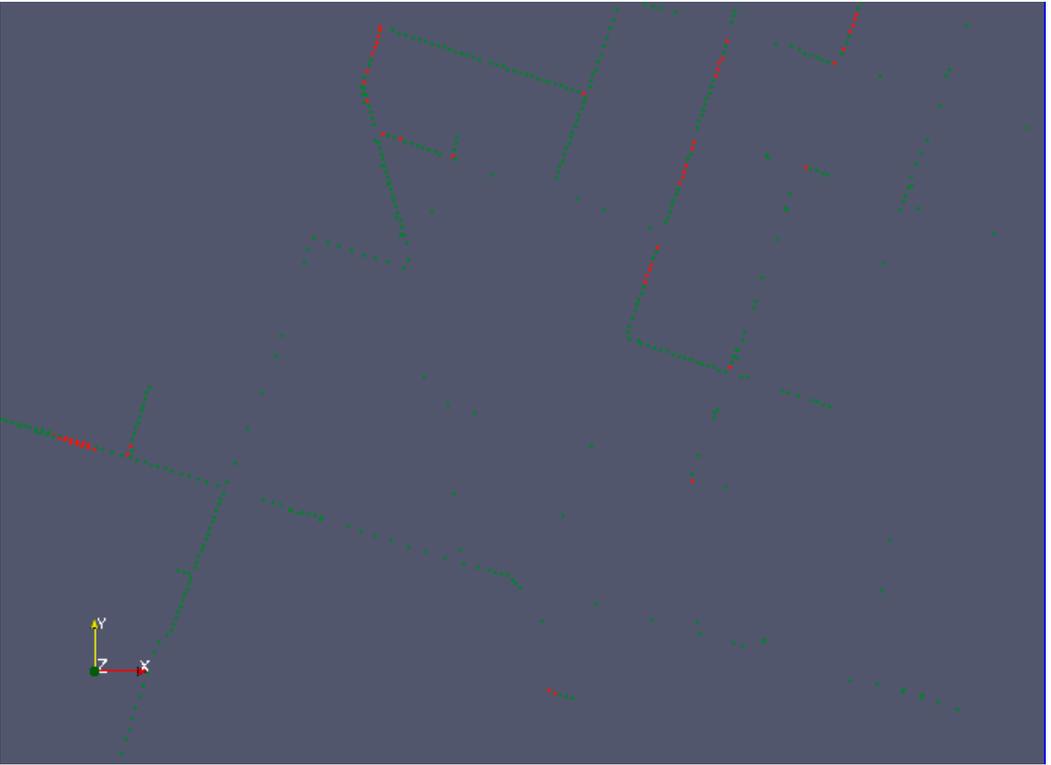
Simulación a los 4000s tiempo dinamico



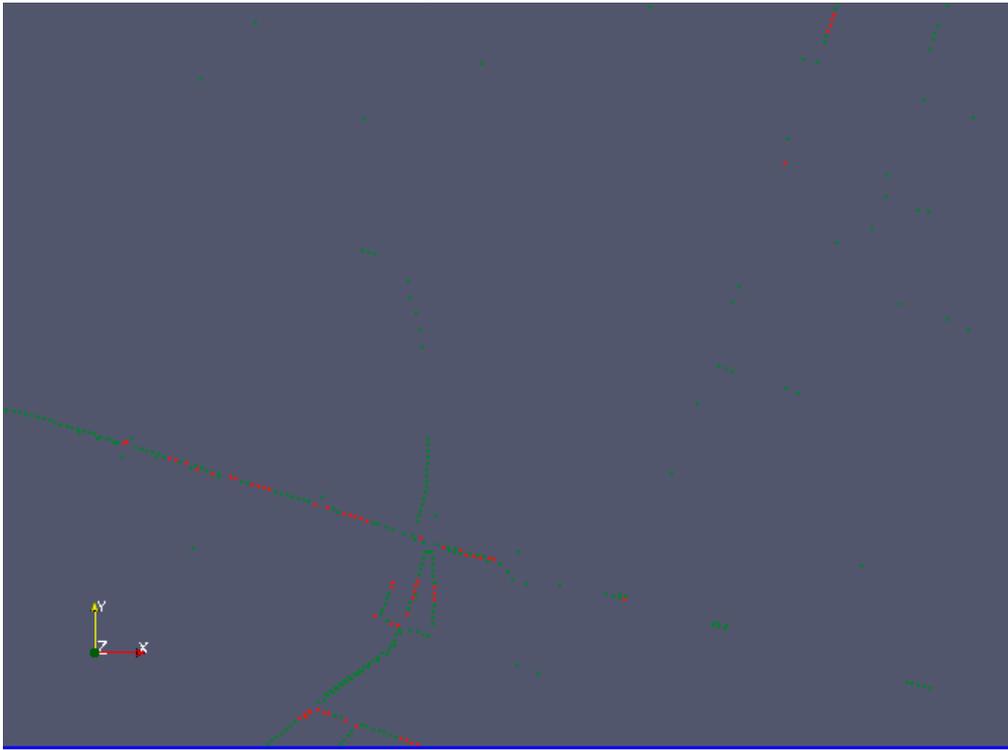
Simulación a los 5000s tiempo fijo



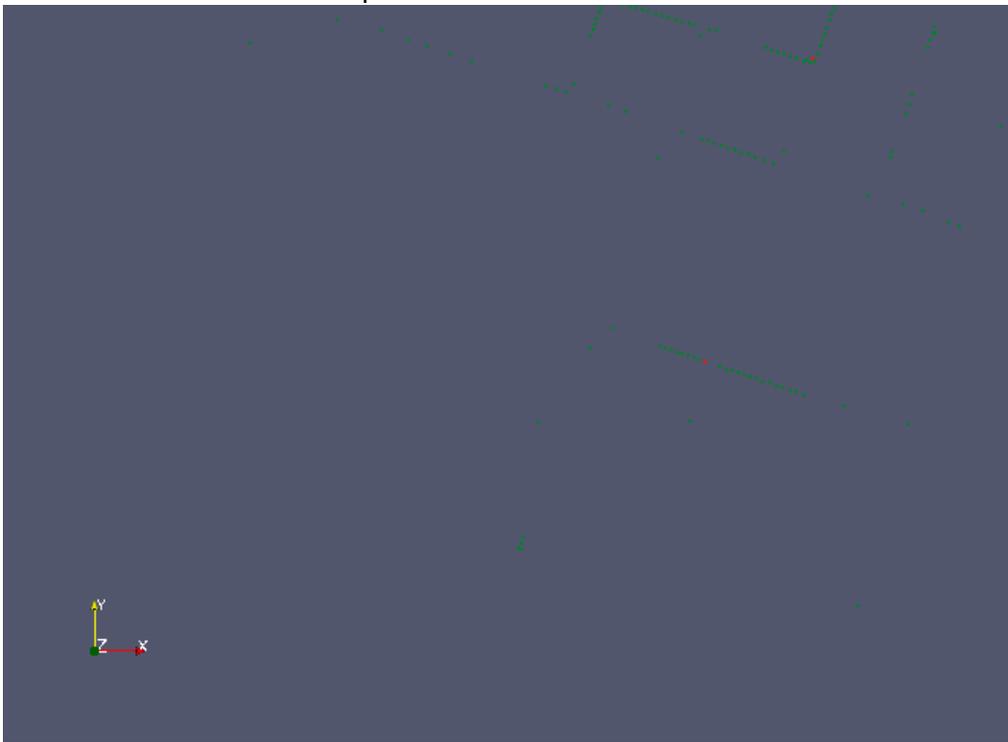
Simulación a los 5000s a tiempo dinamico



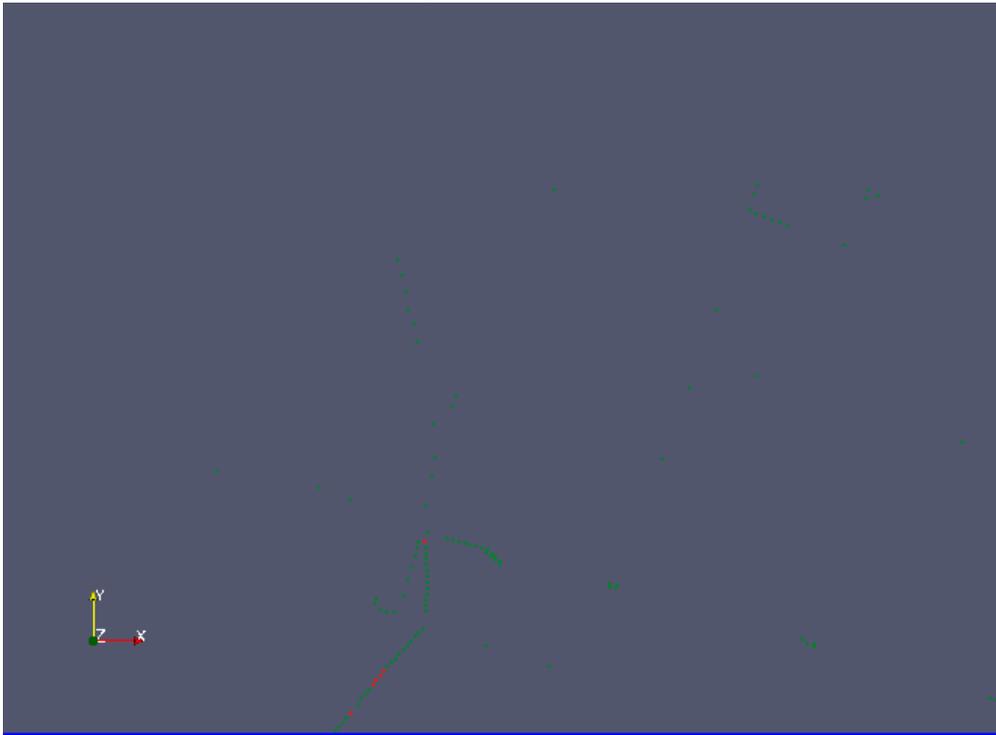
Simulación a los 6000s tiempo fijo



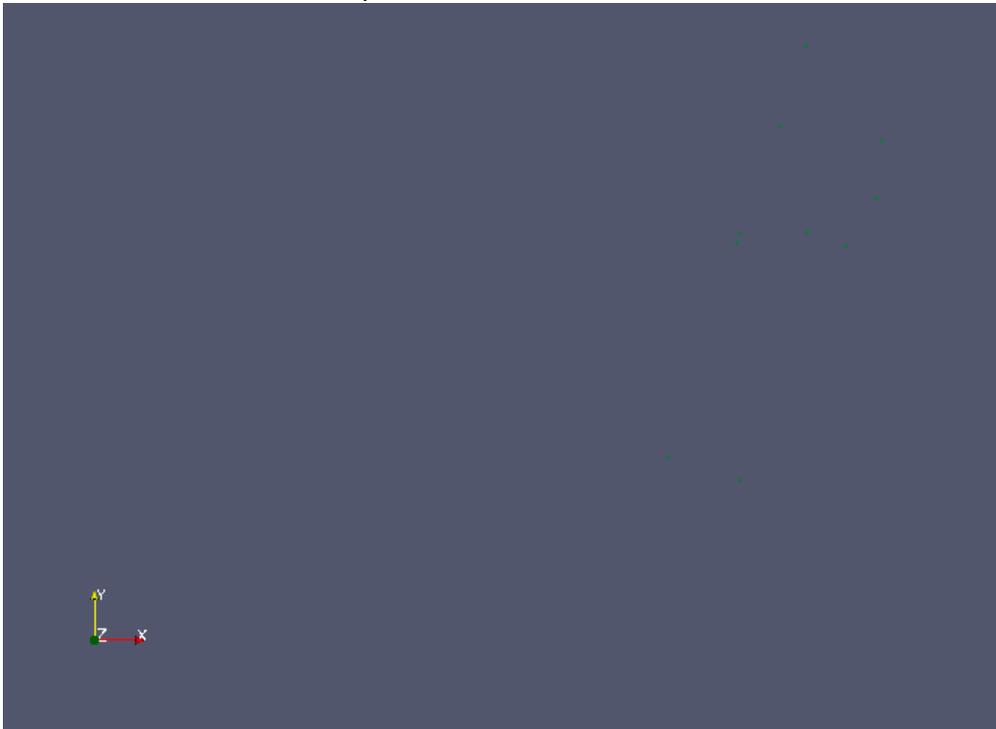
Simulación a los 6000s tiempo dinamico



Simulación a los 7000s tiempo fijo



Simulación a los 7000s tiempo dinámico



6.0 CONCLUSIONES

Se observó una disminución significativa de los tiempos de distintos indicadores de fluidez de tránsito mediante el uso del sistema de detección de vehículos y el algoritmo de definición de tiempos dinámicos para la red de semáforos. Se verificó la disminución de tiempos, emisión de gases contaminantes y consumo de combustible.

Las gráficas de velocidad media permiten visualizar además que las áreas de congestión en las principales intersecciones se diluyen más rápidamente con el sistema adaptativo.

Las mejoras significativas en cada uno de estos parámetros demostraron las contundentes mejoras de la aplicación de un sistema inteligente de semáforos capaz de adaptarse a las condiciones de tránsito.

No obstante los resultados obtenidos, existen muchas posibles líneas de investigación abiertas: por ejemplo, podría evaluarse el impacto de distintos algoritmos para la definición de fases.

Asimismo, podría segmentarse el tráfico mejorando los tiempos de respuesta acorde a las necesidades de tránsito del transporte público o de vehículos de emergencia.

Una limitación a tener en cuenta de los resultados obtenidos es que fueron obtenidos en base a una representación de menor escala de la ciudad de Córdoba y con un tráfico homogéneo, esto debido a tiempos computacionales ya que tanto los recursos necesarios para la simulación como al tamaño los archivos de resultados aumentan de forma considerable a medida que se incrementan los tiempos y la superficie de evaluación.

Para tener resultados más representativos de toda el área de tránsito de Córdoba sería necesario utilizar una representación de toda la red de tránsito de la ciudad.

7.0 BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, and D. Krajzewicz, "SUMO - Simulation of Urban MObility: An Overview," in SIMUL 2011, The Third International Conference on Advances in System Simulation, 2011.
- [2] DLR and contributors, SUMO Homepage [Online], <http://sumo.sourceforge.net/>, accessed July 03, 2012.
- [3] PTV AG, Vissim homepage [Online], <http://www.ptvvision.com/en-uk/products/vision-traffic-suite/ptvvissim/overview/>, accessed July 03, 2012.
- [4] OpenDRIVE consortium, OpenDRIVE homepage [Online], <http://www.opendrive.org/>, accessed July 03, 2012. [5] PTV AG, VISUM homepage [Online], <http://www.ptvvision.com/de/produkte/vision-traffic-suite/ptv-visum/>, accessed July 03, 2012. [6] MATSim homepage [Online], <http://www.matsim.org/>, accessed July 03, 2012. [7] OpenStreetMap homepage [Online], <http://www.openstreetmap.org/>, accessed July 03, 2012. [8] D. Krajzewicz, G. Hertkorn, J. Ringel, and P. Wagner, "Preparation of Digital Maps for Traffic Simulation; Part 1: Approach and Algorithms," in Proceedings of the 3rd Industrial Simulation Conference 2005, pp. 285–290. EUROSIS-ETI. 3rd Industrial Simulation Conference 2005, Berlin (Germany). ISBN 90-77381-18-X. [9] L. G. Papaleondiou and M. D. Dikaiakos, "TrafficModeler: A Graphical Tool for Programming Microscopic Traffic Simulators through High-Level Abstractions," in Proceedings of the 69th IEEE Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2009, Spain, 2009.
- [4] OpenDRIVE consortium, OpenDRIVE homepage [Online], <http://www.opendrive.org/>, accessed July 03, 2012.
- [5] PTV AG, VISUM homepage [Online], <http://www.ptvvision.com/de/produkte/vision-traffic-suite/ptv-visum/>, accessed July 03, 2012.
- [6] MATSim homepage [Online], <http://www.matsim.org/>, accessed July 03, 2012.
- [7] OpenStreetMap homepage [Online], <http://www.openstreetmap.org/>, accessed July 03, 2012.
- [8] D. Krajzewicz, G. Hertkorn, J. Ringel, and P. Wagner, "Preparation of Digital Maps for Traffic Simulation; Part 1: Approach and Algorithms," in Proceedings of the 3rd Industrial Simulation Conference 2005, pp. 285–290. EUROSIS-ETI. 3rd Industrial Simulation Conference 2005, Berlin (Germany). ISBN 90-77381-18-X.
- [9] L. G. Papaleondiou and M. D. Dikaiakos, "TrafficModeler: A Graphical Tool for Programming Microscopic Traffic Simulators through High-Level Abstractions," in Proceedings of the 69th IEEE Vehicular Technology Conference, VTC Spring 2009, Spain, 2009.
- [10] Michael Kyte -Traffic Signal Systems Operations and Design: An Activity-Based Learning Approach - August 8, 2012
- [11] Treiber, Martin, Kesting, Arne - Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation Hardcover – October 11, 2012
- [12] Clifford Spiegelman - Transportation statistics and micro simulation - February 2011
- [13] Alberto Bull - Congestion de Transito: El Problema y Como Enfrentarlo - Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 1993

- [14]Michael A. P. Taylor (Author), William Young (Author), Peter W. Bonsall (Author) - Understanding Traffic Systems: Data, Analysis, and Presentation Hardcover – May 1, 2000
- [15]Tom Vanderbilt (Author)- Traffic: Why We Drive the Way We Do (and What It Says About Us) - 2008
- [16]National Association of City Transportation Officials (Author) Eran Ben-Joseph (Author) - ReThinking a Lot: The Design and Culture of Parking
- [17]Res. Lett. Inf. Math. Sci., 2009, Vol. 13, pp. 35–54
https://www.massey.ac.nz/massey/fms/Colleges/College%20of%20Sciences/IIMS/RLIMS/Volume13/TrafficSimulatorReview_arlims.pdf
- [18]Rieser, M.: Adding transit to an agent-based transportation simulation concepts and implementation. PhD thesis, TU Berlin, (also: VSP WP 10-05) (2010)
- [19]. Balmer, M., Meister, K., Rieser, M., Nagel, K., Axhausen, K.W.: Agent-based simulation of travel demand: Structure and computational performance of MATSim-T. 2nd TRB Conference on Innovations in Travel Modeling, Portland (2008)
- [20]. Taniguchi, E., Thompson, R.G., Yamada, T., Duin van, R.: City logistics – Network Modelling and Intelligent Transport Systems. Pergamon, Amsterdam (2001)

8.0 ANEXO

Salida Simulación SUMO

Hoja de cálculo: summary_data.xlsx