

# Simulación Microscópica de Tránsito y Transporte Vehicular en Puente Alsina de la Ciudad Autónoma De Buenos Aires (CABA)

Betiana Germano (bgermano@uade.edu.ar)  
Martin Statuto (martinstatuto1@hotmail.com)  
Andres Caminos (acaminos@uade.edu.ar)  
Edgar Maimbil (tinymaimbil@gmail.com)  
Facultad de Ingeniería (FAIN)  
Universidad Argentina de la Empresa (UADE)  
Buenos Aires, Argentina, 2011

## RESUMEN

En este trabajo se describe el tránsito vehicular de automóviles particulares y medios de transporte público en los alrededores de Puente Alsina, una ubicación clave en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) pues es una de las interfases entre la ciudad CABA y la Provincia de Buenos Aires, ambas de la República Argentina. Mediante un software de simulación de tránsito vehicular se ha construido un modelo con el cual se puede analizar el tránsito vehicular en este punto neurálgico de CABA, entender las razones de los problemas de congestión, determinar cuando la red puede presentar saturación y que soluciones podrían encararse desde la administración de gobierno para reducir el tiempo de espera de los conductores derivados de una mala o deficiente utilización de la red vial. Analizamos la toma de datos y la verificación de las condiciones de funcionamiento en la validación del modelo y lo utilizamos posteriormente para experimentar determinadas soluciones para concluir en un conjunto de recomendaciones que de poder ser implementadas ayudarían a reducir el problema de congestión de tránsito que a diario deben sufrir numerosos conductores y el transporte público de pasajeros que ingresa a CABA o regresa hacia la Provincia de Buenos Aires.

**PALABRAS CLAVE :** SIMULACION, TRANSITO, PARAMICS, CABA, PUENTE ALSINA, FLUJO MICROSCOPICO, CONGESTION

## 1. INTRODUCCION

Las grandes ciudades deben padecer enormes problemas de congestión de tránsito derivados de una infraestructura deficiente, una falta de planificación del crecimiento del parque automotor, un mal aprovechamiento de la red vial, un sistema creciente de manifestaciones sociales y un sin número de otros motivos que llevan a que los conductores deban padecer largas demoras para trasladarse desde sus lugares de residencia hasta su trabajo y viceversa.

**Argentina**, un país con poco más de 40 millones de habitantes, un parque automotor de más de 7 millones de vehículos y más del 33% residiendo en un radio de 50 km centrado en la ciudad de **Buenos Aires**, moviliza más de dos millones de vehículos diariamente. En Buenos Aires un traslado promedio oscila entre 1 hora y hora y media para movilizarse a los lugares de trabajo desde la periferia (Gran Buenos Aires, GBA) y un tiempo similar para el regreso a los hogares.

Aproximadamente, diariamente ingresan a la ciudad de Buenos Aires más de un millón de vehículos los cuales sumados a los propios oscilan en más de dos millones de vehículos en movimiento. En **Buenos Aires**, el año pasado, entró en vigencia una diferencia de tarifas para los peajes de ingreso a la ciudad, según la hora, con escasos resultados de desaliento para los conductores.

En nuestro país, Argentina, el crecimiento del parque automotor ha aumentado de manera alarmante en la última década. Según ACARA [5], el parque automotor en Argentina se ha ido incrementando según mostramos en la tabla siguiente para el periodo 2004 a 2010:

Tabla 01. Producción de automotores en Argentina, Periodo 2004-2010. Fuente ADEFA [2]

Período	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004
Producción	716,540	512,924	597,086	544,647	432,101	319,755	260,402
Crecimiento Anual	36.70%	-14.09%	9.62%	26.04%	35.13%	22.79%	53.50%

Por todo lo anterior, manejar en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), como en casi cualquier ciudad grande del mundo se ha convertido hoy en un problema de grandes dimensiones. Podemos afirmar que la infraestructura vial de una ciudad es directamente proporcional al tamaño de su parque automotriz, por lo que cada vez que una ciudad inaugura una avenida, un puente o un túnel, sabemos que sus ciudadanos motorizados indefectiblemente saturarán el sistema de cualquier forma. Por eso, asegurar que todas las ciudades con un sistema de transporte de mayoría de vehículos particulares (como en nuestro caso) tendrán problemas de tráfico, no da lugar a controversias.

Cuando un área urbana contiene una gran densidad vehicular, disminuye las condiciones favorables de vida en general de sus ciudadanos. Una ciudad que tiene alta movilidad vehicular, es una ciudad dónde no se puede vivir bien, y es una ciudad supuestamente contaminada. El tráfico, aumenta de manera alarmante el nivel de estrés de los conductores y peatones, y dispara los índices de contaminación.

Tratando de encontrar soluciones a los tremendos problemas de congestión de tránsito, muchas ciudades, incluyendo CABA, están utilizando modernas tecnologías informáticas intentando encontrar posibles respuestas y soluciones que tiendan a ordenar el tránsito vehicular y a fomentar la utilización del transporte público de pasajeros. Pero muchas veces, los recursos son limitados, las ciudades están trazadas y físicamente no pueden crecer en un sentido plano y sus redes de transporte público con el crecimiento demográfico también resultan insuficientes. Entonces, ¿es posible pensar que el problema de tránsito y transporte en las grandes ciudades no tiene solución? Al contrario, se buscan alternativas tendientes a paliar estas circunstancias, algunas implementando soluciones drásticas como cobro de peajes para ingresar en las grandes ciudades, otras restringiendo los accesos vía vedas vehiculares y otras desalentando el transporte personal otorgando beneficios para que disminuyan la cantidad de vehículos que ingresan a las grandes ciudades.

La zona que analizamos en este trabajo es los alrededores del llamado "Puente Alsina" (denominación correcta Puente Tte. Gral. José Félix Uriburu) es un puente terminado en 1938 que cruza el Riachuelo, uniendo la Avenida Sáenz del barrio Nueva Pompeya de la Ciudad de Autónoma de Buenos Aires, con la localidad de Valentín Alsina, Partido de Lanús, provincia de Buenos Aires, Argentina [1]. Al llegar el año 2002, la Legislatura Porteña estableció una ley, por la cual se repuso el nombre original de Puente Alsina a la estructura.



Figura 01. Actual Puente Alsina en CABA

Posee dos rampas para uso exclusivo vehicular. Cada rampa contiene dos carriles, de aproximadamente 3.50 metros de ancho cada uno. Los peatones acceden al puente mediante escaleras. Por debajo de la rampa del lado provincia se encuentra la vía simple del ex-Ferrocarril Midland (actualmente Ferrocarril General Manuel Belgrano).

Más de 70,000 vehículos cruzan diariamente este puente en ambos sentidos, la mayoría de los problemas de congestión ocurren en horarios denominados pico cuando una gran cantidad de personas y vehículos utilizan el acceso al puente para acceder a sus trabajos o viceversa. La limitación de cantidad de carriles del puente y la gran afluencia vehicular produce numerosos embotellamientos que ocasionan demoras considerables en el tiempo del cruce del puente hacia sentido capital o provincia.

La ubicación geográfica del Puente Alsina y su interfase con Valentín Alsina en la provincia de Buenos Aires se muestra en la figura 02 siguiente



Figura 02: Ubicación Geográfica de Puente Alsina

## 2. ESTADO DEL ARTE

Existen una gran variedad de modelos matemáticos de simulación para control de tránsito. Estos pueden clasificarse según sus propiedades y la forma en la que describen al área estudiada. Pueden basarse en interpretaciones físicas (descripción a partir de las leyes de Newton), nivel de detalle (macro, meso o microscópico), tiempo de simulación (discreto o continuo) o según relaciones (determinísticas o estocásticas) entre otros.

En este proyecto hemos decidido analizar en los distintos modelos que describen las redes de tránsito desde el punto de vista del nivel de detalle. Personalmente creemos que la forma más adecuada para analizar una red de tránsito es la basada en el nivel de detalle. De esta forma podemos distinguir tres grupos de simulación:

- **Microscópico:** en donde se estudian individualmente cada una de las entidades del sistema, describiendo un modelo para su comportamiento particular, que permite estudiar la relación entre distintas entidades particulares o con el entorno.
- **Macroscópico:** A diferencia del caso anterior, en este tipo de simulación se analiza el flujo de tránsito en su totalidad sin tener en cuenta las relaciones individuales de cada entidad entre sí o con la red de tránsito. Dicho análisis se basa en relaciones determinísticas entre el flujo, velocidad y densidad del tránsito.
- **Mesoscópico:** Una posible variación del modelo macroscópico, es el mesoscópico, que trabaja integrando aspectos del enfoque macroscópico, pero también del enfoque microscópico. Este modelo permite un análisis más detallado de las entidades en particular, pero también se basa en la densidad, flujo y velocidad de tránsito. El uso de esta variación no es

muy común actualmente, ya que los procesadores pueden realizar sin inconvenientes una simulación microscópica, lo cual no era posible años atrás.

Para el desarrollo de nuestro trabajo hemos elegido modelos de simulación microscópica. El desarrollo de este tipo de modelo puede comenzar con la descripción de la red de tránsito, la cual tiene características propias como límites de velocidad, número de carriles, prohibiciones de paso o de giro, entre otras. Luego se prosigue con la descripción de cada entidad en la red, con sus propios atributos, pudiendo ser físicos o no. En el caso de vehículos, los atributos físicos son su masa, aceleración y medidas, lo que permite simular diferentes tipos de vehículos como ser particulares, taxis, autobuses o transporte liviano, por ejemplo.

Mientras que el comportamiento del conductor no corresponde al grupo de atributos físicos, pero tiene influencia dentro del modelo modificando su comportamiento ante las situaciones presentadas. Dentro de las opciones de simulación basadas en detalle del tipo microscópico, podemos encontrar los siguientes enfoques:

- **Car Following:** Este modelo describe cómo interactúan los vehículos siguiendo a su predecesor. Los conductores reaccionan a las aceleraciones o desaceleraciones del líder, a partir del cual toman decisiones como sobrepasarlo o seguir detrás de él si es que se dirigen por la misma ruta. Los parámetros que se tienen en cuenta a la hora de este tipo de decisiones son la habilidad del conductor, la agresividad, la velocidad máxima del carril o el número de carriles, entre otros. Estas variables determinan que sea un modelo del tipo estocástico. El programa de simulación utilizado en este trabajo, Quadstone Paramics, corresponde a este método de simulación, con la variante de *Car Following*.
- **Overtaking:** En este caso los vehículos no se siguen, sino que a partir de una serie de reglas y condiciones del entorno encuentran la oportunidad para poder sobrepasarse. Estas reglas y condiciones dependen, nuevamente, del comportamiento del conductor, la situación en los carriles adyacentes a la maniobra, o las velocidades máximas de circulación permitidas.
- **Autómatas Celulares:** El concepto de autómatas celulares caracteriza a la red de tránsito como un conjunto de células conectadas entre sí. Se describe el comportamiento del vehículo según la forma en que este pasa de su célula actual a la siguiente. Cada célula (comúnmente utilizando 7.5 metros de largo) puede estar vacía o no, conteniendo exactamente un vehículo o permitiendo que un vehículo la ocupe en el próximo período. El movimiento de la entidad (vehículos) de una posición a otra se basa en una serie de reglas que describen su posición, su interacción con las células vecinas y las condiciones iniciales de la red. La aplicación del concepto de autómatas celulares a las redes de tránsito fue desarrollada por Nagel-Schreckenberg [11] en 1992. El uso de este modelo puede permitir el estudio de las ondas de tránsito, un tipo de congestiónamiento, que conociendo su comportamiento podrían ser eliminadas aliviando la situación de congestiónamiento.

El programa de simulación adoptado en este trabajo, utiliza el nivel de paciencia de los distintos conductores como variable estocástica. Durante la simulación se determina un nivel de paciencia que solo se utilizará en esa simulación, siendo recalculado en la siguiente. De esta relación resulta que se debe analizar un promedio de repetidas simulaciones para poder realizar conclusiones.

### 3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Desarrollar un modelo que logre simular la situación real de tránsito en la zona de Puente Alsina de CABA, con el cual se podrá experimentar de forma controlada distintos escenarios que no pueden ser analizados sobre el sistema real y que servirán de base para proponer alternativas de mejoras que permitan un tránsito vehicular más ágil en esta zona problemática de la ciudad, interface entre la ciudad CABA y la Provincia de Buenos Aires.

#### 4. MATERIALES Y METODOS

Para la obtención de datos para la construcción del modelo, se realizaron distintos aforos manuales, esto es, un conteo directo de la cantidad de vehículos que circula por la zona de análisis, en diferentes horas del día y en distintos días de la semana.

Se utilizaron contadores manuales y cronómetros para conteo de vehículos y medición de tiempos de espera, de señales de semáforos (verde, rojo, ámbar) y la determinación de la cantidad de vehículos porcentuales que no continúa sobre la avenida principal, sino que algunos vehículos egresan de la red analizada por giros transversales.

Las mediciones se realizaron en las intersecciones de las siguientes calles: del lado de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Avda. Sáenz, las laterales: Río Cuarto, Mom, 27 de Febrero y Dr. Domingo Cobred. Del lado de provincia se midieron flujos en calles Carabobo, Quindimil, Carlos Pellegrini, Manuel Campos, Dr. Alfredo Palacios y Curupaytí.

Además de las mediciones, estimamos según registros visuales, el comportamiento de conductores frente a las posibilidades de giros, los diferentes tipos de vehículos (particulares, taxis y transporte público).

El horario seleccionado para conteo y medición de flujo vehicular fue entre las 10 y 16 horas de una semana tipo de la ciudad de Buenos Aires, fuera de las horas pico, por cuanto en estas últimas (mañana de 7 a 10 horas y de tarde de 17 a 20 horas), toda la red está saturada debido a la gran cantidad de vehículos que circula por el lugar productos de la llegada y salida de los lugares de trabajo tanto de provincia como de la ciudad CABA

Estas mediciones permitieron construir una matriz Origen – Destino (OD) con el cual se alimentará al software de simulación y con el cual se realizara la verificación, ajuste y validación de los datos relevados como punto de partida para experimentar con el modelo.

#### 5. TRABAJO DE CAMPO

Como dijimos, el trabajo de campo consistió en la recolección de datos referentes a cantidad de vehículos por hora que ingresan y egresan de la red, un muestreo de tiempos de semáforos en cada una de las intersecciones de nuestra red simulada donde existe el semáforo y una cantidad de vehículos que abandona la avenida principal para producir un giro. Esta última información se indicará como un porcentaje del total, que representará una probabilidad que un vehículo abandone la arteria principal para producir un giro.

##### 5.1 Medición de Cantidad de Vehículos

Desde el lado de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), el resumen de los datos relevados se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 02. Flujo Vehicular de Ingreso a la Red, lado CABA, medido en [Vehículos/hora]

Acceso	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Promedio
Avda. Amancio Alcorta	536	560	712	840	688	840	696
Avda. Sáenz	584	560	868	788	916	712	738
Avda. Centenera	636	508	280	484	664	688	543

Desde el lado de la Provincia de Buenos Aires (Valentín Alsina), el resumen de los datos relevados se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 03. Flujo Vehicular de Ingreso a la Red, lado CABA, medido en [Vehículos/hora]

Acceso	Lunes	Miércoles	Viernes	Promedio
Avda. Remedios de Escalada de San Martín	1184	1156	1096	1145
Dr. Alfredo Palacios	180	164	168	171
Carabobo	76	64	88	76

Desde el lado provincia, los valores no tienen mucha variación como los de CABA por ello se tomaron datos en los días indicados.

### 5.2 Medición de Tiempos de Semáforos

La tabla siguiente resume el tiempo de cada señal en un semáforo de nuestra red simulada

Tabla 04: Tiempos de Semáforos Medidos en Segundos

Ubicación de Semáforos	Paso Verde	Paso Rojo	Paso Ambar
Avda. Centenera [S1]	25	72	3
Avda., Sáenz [S2]	41	55	3
Avda. Amancio Alcorta [S3]	20	75	3
Avda. Amancio Alcorta [S4]	64	31	3
Avda. Remedios de Escalada [S5]	32	22	2.3

### 5.3 Medición de Giros

Los giros y porcentajes de vehículos que abandonan la avenida principal de circulación se informan en la tabla siguiente:

Tabla 05: Medición de Giros desde el lado de CABA

Origen/Destino	Avda. Sáenz	27 de Febrero	Puente Alsina	Echauri	Avda. Amancio Alcorta
Avda. Amancio Alcorta	8%	65%	19%	8%	
Avda. Sáenz		18%	75%	7%	
Avda. Centenera		5%	77%	5%	14%

Por otra parte, el flujo de vehículos que ingresan y egresan de Puente Alsina, se distribuye según muestra la siguiente tabla:

Tabla 06: Medición de Giros desde el lado de Provincia Buenos Aires

Origen/Destino	Avda. Sáenz / Remedios de Escalada	Curupayti	Avda. Amancio Alcorta
Lado CABA	86,1%	13,9%	
Lado Provincia	52,6		47,4%

Todos estos valores alimentarán al simulador microscópico para poder analizar la red y comprobar si responde a la realidad analizada.

### 5.4 Diferenciación del Parque Automotor

Al realizar las mediciones *in situ* se han contabilizado todos los tipos de vehículos, sean automóviles particulares, taxis, colectivos o transporte de carga livianos. La programación en el software Quadstone

Paramics [10] nos ha obligado a realizar una discriminación de los colectivos, ya que hemos cargado los mismos a partir de la frecuencia expuesta por cada una de las empresas concesionarias. Este ajuste ha modificado la matriz de origen-destino en 202 unidades. Esto quiere decir que durante el tiempo de simulación (una hora) 202 unidades de transporte público recorren la zona de estudio. Éstas se han descontado según el origen de las mismas para afectar correctamente a cada uno de los carriles.

El resto de las entidades, han sido segmentadas respecto a la cantidad total registrada, con cifras presentadas oficialmente, como se dijo anteriormente, para la Ciudad de Buenos Aires, obteniendo la siguiente distribución total, incluyendo en este el total de colectivos, para nuestra zona de estudio (figura 03).

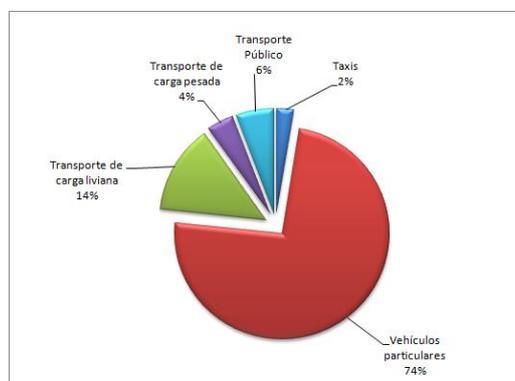


Figura 03. Segmentación del Parque Automotor medido

## 6. CONSTRUCCION DEL MODELO

Se comenzó creando una plantilla con imágenes tomadas del programa Google Earth, sobre la cual se trazaron cada una de las calles dentro del área de estudio. El trazado de las calles se realizó de esta manera para poder respetar las características de forma particulares de cada una. Un claro ejemplo se ve en las dos bajadas del Puente Alsina (figura 04) donde existe una unión de, al menos, cinco calles.



Figura 04: Representación parcial de la red simulada

El trazado de la red se comenzó con la colocación de los nodos. Estos se colocan en cada una de las intersecciones. Los nodos determinan el comienzo o fin de una calle, y se utilizan para determinar las conexiones entre estas. Esto quiere decir que dos carriles que no compartan por lo menos un nodo no tendrán conexión directa entre ellos (figura 05).

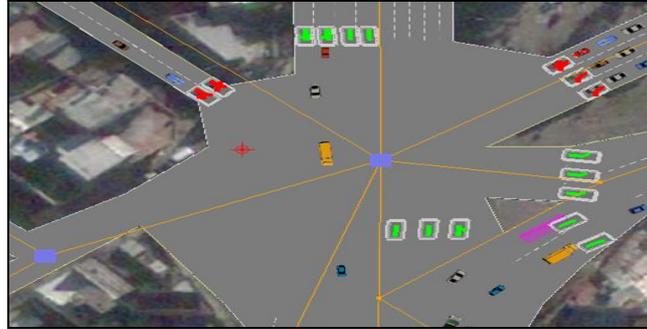


Figura 05: visualización de dos nodos (en celeste)

Una vez creados los nodos, se debe realizar el trazado de las uniones junto con la configuración de las mismas, determinando la velocidad de circulación permitida, cantidad de carriles, tipo de calzada, sentidos de circulación, etc.

Las características de cada una de las calles y avenidas se han establecido de forma manual luego de la creación de nodos y uniones. Estas características se han obtenido de distintas maneras, por ejemplo en el caso del ancho de carril se utilizó la herramienta Google Earth, mientras que en la velocidad de circulación se ha relevado e informado el estado de cada uno de los tramos estudiados.

Una vez que se recrea la red en su totalidad se colocaron las zonas, en las calles que se sabía modificaban el volumen de vehículos en la red (ingresos y egresos). En nuestro trabajo se requirió colocar quince zonas.

Las zonas no solo se utilizan para determinar el ingreso o egreso de las entidades, sino que también en ellas de basa la matriz de OD (origen-destino). Ésta es una matriz de doble entrada, donde se ubica la zona de origen en cada una de las filas, y la de destino en cada una de las columnas.

 Screenshot of the Travel Demand Editor software showing an Origin-Destination (OD) matrix. The matrix is a 15x15 grid with rows and columns labeled Zone 1 through Zone 15, and a 'Total' column. The data shows the number of vehicles originating from each zone and going to each destination zone.
 

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Zone 8	Zone 9	Zone 10	Zone 11	Zone 12	Zone 13	Zone 14	Zone 15	Total
Zone 1	0	0	0	53	1	0	2	129	0	408	12	0	0	0	0	665
Zone 2	0	0	0	74	25	0	0	25	0	355	59	0	0	0	0	538
Zone 3	44	0	0	0	48	4	0	8	443	0	115	19	0	0	0	681
Zone 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zone 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zone 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zone 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zone 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zone 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zone 10	28	0	0	68	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103
Zone 11	521	0	0	533	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	1070
Zone 12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zone 13	188	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	171
Zone 14	21	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	58
Zone 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	4	0	0	0	0	24
Total	702	0	0	791	126	12	0	10	597	0	698	154	0	0	20	3310

Figura 06: Matriz de Origen Destino (OD) de nuestra red simulada

Esta imagen corresponde a la matriz OD utilizada en nuestro proyecto, en ella se puede leer que de la zona 1 (Av. SAENZ) se dirigen 408 vehículos a la zona 11 (Remedios de Escalada de San Martín), durante la duración de la simulación (una hora).

Un punto importante de la simulación es la definición de la matriz de origen y destino. Como se había dicho anteriormente, los datos para la definición de ésta se han medido a lo largo de una cantidad de días. El porcentaje de vehículos particulares, transporte de carga liviano y pesado se obtuvo a partir del informe anual del parque automotor y de estadísticas publicadas por la Asociación de Fábricas de Automotores

(ADEFAs) [2]. Si bien no es posible asegurar que la distribución presentada en el informe de ADEFAs sea representativa a nuestra zona de estudio, debido al tiempo y a los recursos con los que contamos al momento de realizar este trabajo, ha sido la mejor opción para representar la realidad. Hemos definido a los vehículos particulares con las mismas características técnicas entre sí, pero diferenciados en la forma o color para lograr una mejor visualización durante la simulación.

## 7. VALIDACION Y VERIFICACION

Hemos realizado una calibración en dos aspectos diferentes dentro del modelo para lograr reproducir la situación actual. La primera de ellas concierne a la llegada de la primera unidad de cada una de las líneas de transporte público al modelo y la segunda se trata de un ajuste en las prioridades de paso y giro, tanto en la zona de CABA, como en la Provincia de Buenos Aires.

El horario de comienzo de nuestra simulación es a las 10:00 am, con finalización luego de una hora. Se ha tomado la decisión de simular un periodo de una hora ya que en este tiempo se pueden evidenciar los problemas de congestión correctamente, realizar la simulación con un tiempo menor traería como consecuencia que los problemas no se sucedan y no poder estudiarlos. Así mismo durante un mayor tiempo de simulación sólo se verían agravados estos problemas pero no agregaría valor a nuestro análisis.

A fin de poder validar y verificar nuestro modelo simulado, debimos hacer sobre los siguientes ajustes sobre el recorrido de las líneas de colectivos:

- Con el fin de representar de la mejor manera posible la situación real observada se ha modificado el tiempo de ingreso de la primera unidad de cada línea de colectivo al modelo. Esto quiere decir, que no es representativo que una unidad de cada línea comience a circular en el minuto cero de la simulación. Para llegar a este objetivo se han determinado ocho grupos para la llegada de ésta. Estos grupos corresponden desde el minuto cero al minuto ocho.
- La entrada de los primeras 2 unidades al modelo se suceden en el minuto cero, al comenzar la simulación, esta entrada se repite durante los primeros doce minutos para luego normalizar la llegada según las frecuencias de cada línea. La herramienta utilizada para lograr este objetivo en el software Paramics [10] fue la correspondiente a frecuencias. En la tabla 07 se puede ver que la primera unidad de la línea 128 ingresa al modelo al minuto cero (10:00am), y tiene una frecuencia de arribo de siete minutos, ya que la segunda ingresa a las 10:07am.

Tabla 07. frecuencia de arribo de unidades para la línea 128

Departure	Time	Occupancy
1	10:00:00	10
2	10:07:00	10
3	10:14:00	10
4	10:21:00	10
5	10:28:00	10
6	10:35:00	10
7	10:42:00	10
8	10:49:00	10
9	10:56:00	10

- Las líneas de colectivo se han clasificado según su frecuencia de arribo con el fin de evitar la pérdida de unidades por el no cumplimiento de esta. En la siguiente tabla se puede observar cada una de las líneas con su frecuencia de arribo y el minuto de ingreso a la simulación. Como

se puede observar ninguna de las líneas ingresa al modelo luego del cumplimiento de su tiempo de arribo.

Tabla 08: Frecuencias e ingresos al modelo de cada línea de colectivo

Línea	Frecuencia de arribo	Minuto de arribo
128	7	0
160	7	
44	8	1
42	9	
9	10	2
28	10	
135	10	3
188	10	
15	11	4
70	11	
165	11	5
46	13	
32	14	6
178	14	
179	14	
85	16	7
75	17	8
158	17	
177	17	9
112	19	
354	20	10

Un segundo ajuste realizado, fue el correspondiente a las prioridades de paso y posibilidades de giro. Nos encontramos obligados de efectuarlo ya que en varias ocasiones durante la simulación notamos que vehículos que circulaban por caminos secundarios, como ser por calle Carabobo, al ingresar a una avenida como Sáenz tenían prioridad sobre los que ya se encontraban en esta última. Así mismo se han modificado las posibilidades de giro según el carril de circulación. Fue muy frecuente ver durante las primeras pruebas del simulador que algunos automóviles al querer doblar, por ejemplo, a la derecha no se posicionaban con anterioridad hacia un carril que facilite ese giro, sino que cruzaban varios carriles desde la izquierda al llegar al cruce correspondiente. Estas dos modificaciones se han realizado con herramientas provistas por el simulador. Se deben indicar los movimientos prioritarios (flechas verdes), secundarios (flechas amarillas) y prohibidos (flechas rojas).

En la figura 07 se observan los dos accesos al Puente Alsina, en la primera (a), correspondiente a la zona de CABA, se observan que de los cuatro carriles de Avenida Sáenz, el primero y el segundo permiten seguir en dirección al Puente Alsina, o bien girar hacia la calle Echauri. Siguiendo con el análisis de estos cuatro carriles, se observa que está prohibido, al ser doble mano, doblar a la izquierda y que los carriles del medio, sólo permiten seguir en dirección a la Provincia de Buenos Aires por sobre el Puente Alsina. En la segunda (b), correspondiente a la zona de Provincia de Buenos Aires, se observa que si bien el paso desde la calle Dr. A. Palacios está permitido, la prioridad de paso la tienen los vehículos que circulan por la Avenida Remedios de Escalada de San Martín frente a los que llegan por la nombrada anteriormente.

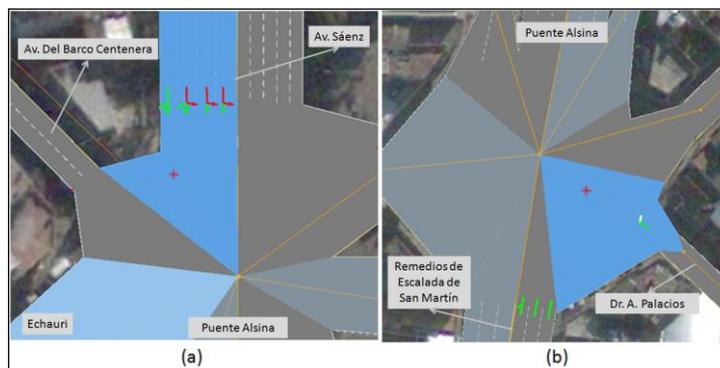


Figura 07: prioridades de paso y giro en dos áreas del modelo.

Estos ajustes realizados al modelo nos permitieron comprobar que representaba la situación relevada con bastante exactitud, especialmente en el horario de muestreo de información, de 10:00 a 16:00 horas.

## 8. EXPERIMENTACION

En este punto del trabajo, ya conocemos la zona de estudio en los aspectos propuesto desde el comienzo, como ser las calles circundantes, la cantidad de vehículos que las utilizan, las líneas de colectivo que las recorren y la frecuencia de los mismos. También conocemos la ubicación de los semáforos y el tiempo de cada una de sus fases.

Todas estas variables descriptas, pueden ser modificadas con el fin de presentar distintos escenarios posibles, los cuales pueden ser reales, como el horario de máxima demanda vial durante la mañana en el Ingreso a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, o bien de prueba en busca de soluciones, por ejemplo una modificación en el tiempo de las fases del semáforo para canalizar de una manera óptima al tránsito.

Los escenarios simulados, buscando realizar un análisis de la situación actual y futura fueron:

- a) Situación actual: utilizando las variables medidas y teniendo en cuenta las calibraciones y ajustes realizados, se simula la situación del tránsito en Puente Alsina durante 1 hora.
- b) Carriles exclusivos: se incorporan a la situación actual carriles exclusivos sobre la Av. Sáenz (2 carriles), Puente Alsina (1 carril) y Remedios de Escalada de San Martín (1 carril).
- c) Aumento del tiempo de verde: se incrementa el tiempo de verde para la fase de Av. Sáenz, hacia y desde Puente Alsina en la zona de CABA.
- d) Situación de saturación: se encontrará el aumento del parque automotor para el cual nuestra red se encontraría colapsada, utilizando para el resto de las variables las mismas que en la situación actual (escenario a).

Las pruebas que se realizaron creando carriles exclusivos para transporte público, escenario “b”, se decidió a partir del relevamiento de colectivos presentado. Sobre el Puente Alsina y sus continuaciones (Av. Sáenz y Remedios de Escalada de San Martín) circulan 14 líneas distintas, lo que nos llevo a investigar cómo afectarían la inclusión de carriles exclusivos sobre el puente.

Las modificaciones que se realizaron para el escenario “c” se debe a que en el cruce del Puente Alsina es importante lograr una correcta desconcentración, ya que es el único paso en la zona sobre el Riachuelo, mientras que los vehículos que circulan exclusivamente por CABA o Provincia de Buenos Aires, cuentan con otras alternativas de movilidad en las calles paralelas a las estudiadas.

Para la realización de los escenarios propuestos hemos utilizado la herramienta provista por el programa de simulación. Esta herramienta permite realizar un incremento porcentual de la demanda de toda la matriz cargada originalmente.

En relación con el tiempo de fases en los semáforos, hemos identificado un problema, el cual se ve acentuado al incrementar la demanda, sobre el Puente Alsina. Este problema se debe a que el caudal de vehículos que circulan por este no logra desconcentrarse durante el tiempo de verde. Para lograr una mejor circulación hemos decidido incrementar este tiempo. Esta modificación afectará la circulación de Av. Del Barco Centenera y Av. Amancio Alcorta (conectadas a este mismo conjunto de semáforos). Asimismo, podemos decir que los vehículos que circulan por otras calles y que no van a utilizar el paso por el Puente Alsina, pueden tomar caminos alternativos, mientras que los que necesitan realizar el paso de Provincia a Ciudad Autónoma de Buenos Aires, no tienen otra alternativa. En la Imagen siguiente se puede observar el inicio de una congestión en dicha arteria (marcado en rojo). Esta fue tomada al finalizar el periodo de verde para los vehículos que circulan por Av. Sáenz – Puente Alsina.



Figura 08: Comienzo de congestión sobre Puente Alsina al terminar la fase de verde.

En la Imagen anterior se puede observar la inclusión de carriles exclusivos (identificados con las líneas verdes oblicuas) sobre el Puente Alsina. Tal como se había descrito en la presentación de los escenarios, se designó un carril por mano para dicho fin, mientras que en las Avenidas fueron dos carriles.

**9. RESULTADOS OBTENIDOS**

En el análisis de los escenarios, se observó que el escenario (a), luego de la realización de los ajustes y calibraciones, representa la situación actual con bastante precisión. Este resultado logrado es importante ya que verificamos que las modificaciones que se realicen para los demás escenarios mostrarán las variaciones que nos darán indicios sobre el comportamiento de la zona.

- Un aumento del 40% en la demanda de la red vial estudiada, es el valor a partir del cual la misma entraría en un estado de saturación, en el cual se generan demoras considerablemente excesivas en cada uno de los caminos estudiados.
- Para analizar esta aumento de demanda se tomo como referencia el semáforo 2 (s2-Av. Sáenz y Puente Alsina ), ya que es el más crítico de la zona estudiada, regula el tránsito que circula por el puente hacia CABA y el proveniente por Av. Sáenz hacía la Provincia de Buenos Aires. En el siguiente gráfico se puede observar la cantidad de vehículos en el semáforo respecto al tiempo de simulación. Tal como se puede observar al aumentar la demanda en un 40% la cantidad de vehículos tiende a aumentar de forma exponencial, situación que no se sucede para los otros casos.

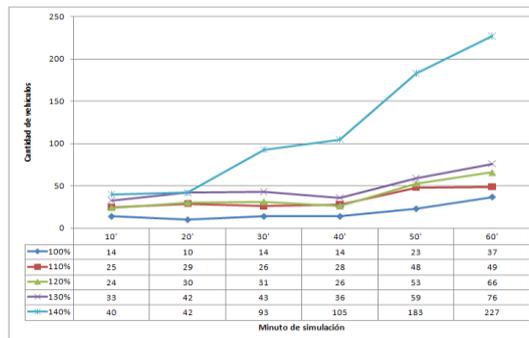


Figura 09: cantidad de vehículos respecto del tiempo de simulación – escenario d.

Los factores que impactan en la circulación por la red de tránsito estudiada son, entre otros, la cantidad de vehículos, el tiempo de cada una de las fases de los semáforos y los carriles exclusivos para transporte público de pasajeros.

Un aumento del volumen de vehículos en la zona provocaría una saturación en la red, por lo cual este factor afecta negativamente al sistema. Esta condición se pudo observar en la figura 09 al analizar el aumento progresivo de la demanda.

Al igual que la implementación de carriles exclusivos, ya que el porcentaje de colectivos frente al de vehículos particulares que circulan por la zona es bajo (aproximadamente 1 en 10). Esto trae como consecuencia congestionamientos a lo largo de todo el Puente Alsina y también de la Av. Sáenz, ya que los carriles restantes habilitados para tránsito particular no son suficientes para dispersar la demanda.

En el escenario c se observa que el aumento de la fase verde, en un máximo de 5 segundos, para Av. Sáenz mejora la circulación por ésta. Así mismo al realizarse con tiempos mayores la desconcentración que se logra, se ve opacada por las demoras creadas en las demás arterias (Av. Del Barco Centenera y Av. Amancio Alcorta). Determinando que esta variable puede tornarse de impacto positivo o negativo según se modifique.

## 10. RECOMENDACIONES

La inclusión de carriles exclusivos puede llevarse a cabo mediante una restricción legal, en la cual se prohíba la circulación de vehículos particulares dentro de un rango horario, comúnmente de 8:00am a 8:00pm, permitiendo sólo la circulación de vehículos de transporte público de pasajeros y en casos particulares también de taxis vacíos. Así mismo se puede agregar una restricción física para evitar el cambio de carril, siempre y cuando ésta no represente una situación de peligro para los automovilistas, una buena opción son conos de plástico fijos, como los ubicados en Avenida Córdoba de CABA.

La segunda modificación posible, a fin de mejorar la circulación sobre el Puente Alsina, es el incremento de la fase de semáforo verde que permite la circulación por esta arteria. Esta solución es algo más sencilla de implementar, ya que deben cambiarse los tiempos de verde desde la caja de circuitos del semáforo.

Como se verá en los resultados, el incremento del parque automotor que deriva en la saturación de la red vial, es del 40%. Dicho incremento se ve proyectado para el año 2013, calculado a partir de las estadísticas publicadas por Asociación de Fábricas de Automotores (ADEFSA) [2] para los años 2009 y 2010. Consideramos que utilizar valores previos a este último no sería representativo debido a que la crisis afectó notablemente la producción automotriz.

## 11. CONCLUSIONES

Luego del estudio realizado a lo largo del trabajo, desde las mediciones oportunamente presentadas, como los ajustes realizados y los distintos escenarios propuestos, hemos concluido que la situación de tránsito actual no es alarmante, ya que se observa una buena circulación de vehículos en la zona. Aunque se observen principios de congestionamiento en determinados horarios del día, al momento no son excesivos para aumentar el tiempo de viaje considerablemente.

Así mismo se ha observado que se deben comenzar a tomar medidas de ordenamiento de tránsito e infraestructura, ya que, según estimaciones presentadas, para el año 2013, la red vial no podrá soportar la demanda a la que se verá expuesta.

Como posible solución a esta situación futura se ha sugerido en una primera etapa una modificación en la fase de semáforo para la entrada al Puente Alsina en CABA. También se deben comenzar con los trabajos de ordenamiento más profundos, como ser la instalación de semáforos inteligentes, que modifiquen los tiempos de fases a partir de la captura de datos *on-line* y mejoras en la infraestructura de las arterias secundarias, para que puedan ser utilizadas como vías alternativas de desconcentración de vehículos.

Como cierre a la investigación, podemos decir que debe ser inminente la toma de decisiones para el área estudiada, ya que las modificaciones a realizar requieren tiempo de implementación y prueba, el cual no se tendrá si no empieza trabajar lo antes posible.

## 12. BIBLIOGRAFIA

- [1] [http://es.wikipedia.org/wiki/Puente\\_Alsina](http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_Alsina)
- [2] <http://www.adea.com.ar/>
- [3] <http://www.ptvag.com/software/transportation-planning-traffic-engineering/software-system-solutions/visum/>
- [4] <http://www.fft.mie/>
- [5] <http://www.acara.org>
- [6] Traffic flow modeling of large-scale motorway networks using the macroscopic modeling tool METANET, Kotsialos, A. Papageorgiou, M. Diakaki, C. Pavlis, Y. Middelham, F., <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=6979>, Vol 4, pp 282-292
- [7] Cheu, R L, Recker, W, Ritchie, S G, Transportation Research Record No. 1457, Part 2, Traffic Flow and Capacity., p. 208-215
- [8] Wang Paul, **Winter Simulation Conference Proceedings of the 27th conference on Winter simulation**, Arlington, Virginia, United States, Pages: 1110 – 1115, 1995
- [9] Taale, H, Middelham, F, TRIS, Volume 2, pp:883-888
- [10] <http://www.paramics-online.com>
- [11] K. Nagel and M. Schreckenberg, *A cellular automaton model for freeway traffic*, J. Physique I **2**, 2221 (1992)
- [12] De Palma, A, Marchal, F, Nesterov, Y, *Transportation Research Record* , Vol: 1607 , pp. 178-184, 1997
- [13] Lighthill, M. J. and Whitham, G. B., "On kinematic waves. II. A Theory of traffic flow on long crowded roads," Proceedings of the Royal Society of London, Vol. 229, 1178, pp. 317–345, 1956.