

# Análisis de la seguridad vial mediante microsimulación de una travesía urbana, caso de aplicación en Argentina

Rivera, J.<sup>1</sup>, Botasso, G.<sup>2</sup>, Villanueva, M.<sup>3</sup>, Brizuela, L.<sup>3</sup>

*Fecha de recepción: 12 de agosto de 2010 – Fecha de aprobación: 1 de noviembre de 2010*

## RESUMEN

Representantes del 21° Distrito de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) de la Provincia de La Pampa, Argentina, realizaron la consulta a profesionales del LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Regional La Plata, respecto de la posibilidad de simular por computadora los escenarios con y sin proyecto de la “travesía urbana” que constituye la obra “Paso de la Ruta Nacional N°35 por la localidad de Eduardo Castex (Provincia de La Pampa)”, para valorar el incremento en la “seguridad vial” que el mismo conlleva, de manera complementaria a una auditoría de seguridad vial.

Desde el LEMaC se confeccionó una propuesta de trabajo en función de dicha requisitoria, sobre la base de que un aspecto no cuantificable en forma directa por simulación, como lo es la “seguridad vial”, si puede ser valorizado indirectamente mediante la observación de indicadores de comportamiento del tránsito, como es el caso de las velocidades medias desarrollables, producción de frenadas, segregación de tránsito, etc., y su correcta interpretación en tal sentido.

Dicha propuesta fue aceptada, llevada adelante, y sus conclusiones fueron presentadas ante diversas autoridades, quienes se apoyaron en las mismas para la toma de decisiones al respecto.

La presente comunicación es una memoria de dicho trabajo de interrelación entre Vialidad-Universidad-Estado, y tiene el espíritu de exponer ciertas consideraciones que pueden ser tomadas en cuenta por los profesionales viales actuantes, en futuras aplicaciones análogas.

**Palabras clave:** Microsimulación de tránsito, Seguridad Vial, Travesías Urbanas.

## Analysys of road safety by micro-simulation of a cross-town link, an argentine case

### ABSTRACT

Representative people from the 21st District of the Argentine National Road Department from La Pampa consulted with professionals from LEMaC, Road Research Center from the National Technological University - Regional Faculty of La Plata, about the possibility of computing simulating the scenarios with and without a project of the “cross-town link” named “Section of National Highway N° 35 through the town of Eduardo Castex (La Pampa)”, in order to evaluate the increment in “road safety” as a complementary way of a road safety auditing.

A work proposal was made from the LEMaC with respect to that question, developed by taking into account that a not measurable aspect such as “road safety” could be indirectly measured by observation of transit behaviour indicators such as the average speed that can be developed, blocked wheel production, transit segregation, etc., and their correct interpretation.

---

<sup>1</sup> Subdirector, LEMaC Centro de Investigaciones Viales. Universidad Tecnológica Nacional, Fac. Reg. La Plata – Argentina. Calle 60 y 124 (1900) La Plata, Bs. As. Te/Fax: 0054-221-4890413. lemac@frlp.utn.edu.ar www.frlp.utn.edu.ar/lemac

<sup>2</sup> Director, LEMaC Centro de Investigaciones Viales. Universidad Tecnológica Nacional.

<sup>3</sup> Técnico, LEMaC Centro de Investigaciones Viales. Universidad Tecnológica Nacional.

Such proposal was accepted and developed, and its conclusions were presented to several authorities, whom made decisions based on it.

The present communication is a memory of that work made thanks to the interrelation among the Road Department-University-Estate and it has the spirit of exposing some considerations that may be taken into account by road professionals in similar future applications.

**Keywords:** Cross-town link, Road microsimulation, Road safety.

## **INTRODUCCION**

Los profesionales del 21° Distrito de la DNV de la Provincia de La Pampa, Argentina, se vieron en la necesidad de demostrar ante las autoridades encargadas de la toma de decisión, la efectividad en lo referido a seguridad vial de uno de sus proyectos para solución de una travesía urbana, más exactamente la de la Ruta Nacional N°35 por la localidad de Eduardo Castex, de dicha provincia.

Según la definen los españoles, la travesía urbana es un tramo de vía interurbana que discurre por suelo urbano, o más específicamente se considera travesía la parte de tramo urbano en la que existan edificaciones consolidadas al menos en las dos terceras partes de su longitud y un entramado de calles al menos en uno de sus márgenes (Gil 2009). Un concepto como tal conlleva claramente a la necesidad de emplear en su resolución tanto técnicas relacionadas con la vialidad urbana como la rural, tendiendo a dotar de la accesibilidad propia de la primera y de la movilidad propia de la segunda.

Esto conduce a que la valoración final del proyecto en cuanto a su efectividad, incluso en aquel aspecto referido a la seguridad vial, resulte compleja a simple vista, aun de expertos en la materia, siendo necesario por lo tanto, o al menos conveniente, recurrir a tecnologías y técnicas avanzadas que simplifiquen el análisis, como veremos es el caso de la microsimulación (Vidal Roca 2007) y/o de las auditorias de seguridad vial.

Ante esta situación, el 21° Distrito de la DNV La Pampa acudió a profesionales del LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la UTN La Plata, quienes confeccionaron una propuesta de trabajo que resultó aprobada. Dicho trabajo fue luego materializado y sus conclusiones y recomendaciones fueron empleadas por las autoridades con jurisdicción sobre la misma como apoyatura en su toma de decisiones.

Así, se ha generado una interrelación entre Vialidad-Universidad-Estado facilitada por una herramienta como la microsimulación de tránsito. Dado que esta situación es factible de reproducirse en varios puntos de la Argentina y Latinoamérica, se ha redactado este

trabajo técnico, que tiene como propósito principal exponer todas aquellas consideraciones que puedan ser tomadas en cuenta por los profesionales viales actuantes, en futuras aplicaciones análogas, constituyendo a la microsimulación como una técnica alternativa o complementaria a las auditorias de seguridad vial empleadas en los últimos años.

## **METODOLOGIA**

La propuesta metodológica de trabajo se sostiene en el concepto de que un aspecto no cuantificable en forma directa por las actuales herramientas de simulación, como lo es la “seguridad vial”, sí puede ser valorizado indirectamente mediante la observación de indicadores de comportamiento del tránsito, como es el caso de las velocidades medias desarrollables, producción de frenadas, segregación de tránsito, etc. (Rivera et al. 2007), y su correspondiente interpretación. Una aplicación sencilla de dicho concepto sería, si se está analizando por ejemplo la aplicación de una medida de bajo costo para la atenuación del tránsito del tipo de una “chicana”, que al simularse el tramo en estudio se registraran velocidades medias de circulación menores en la situación “con proyecto” respecto de la “sin proyecto”, por implicar esto de manera indirecta una mejora en la seguridad vial para los peatones.

Ahora bien, el aumento o disminución de un indicador dado puede interpretarse como una mejora en las características de seguridad vial de una tipología de solución, o como una desmejora en otra tipología de solución. Por ejemplo, podría ser el caso como el ya expuesto en donde una disminución de la velocidad media de circulación sea interpretada como una mejora en cuanto a la seguridad vial de los peatones en un tramo urbano, o el caso de que un aumento de la velocidad, dentro de ciertos límites, sea considerado como una mejora de la seguridad vial dentro de una rama de acceso a una vía rural, ya que esto implicaría una disminución en la producción de frenadas y sus correspondientes colisiones por alcance. Se ve entonces como cada caso de análisis en particular requiere un estudio profundo de cómo un indicador obtenido por microsimulación está expresando en forma indirecta, entre otras cosas, una mejora o desmejora de las condiciones de seguridad vial. Para ello se deben establecer como hipótesis las variaciones en los

indicadores que se buscan en la simulación, previo a la materialización de las mismas. Esto puede justificarse en registros reales sobre estos indicadores obtenidos en pruebas piloto de las diversas tipologías de soluciones a ser empleadas. El LEMaC cuenta con dichos antecedentes, fruto de conclusiones recolectadas de investigaciones de terceros en tal sentido y de las planificaciones propias redactadas a partir del Sistema de Gestión de Planes de Ordenamiento Vial Municipal (SIGEPOVIM-LEMaC) en diversas localidades de la Argentina, que han involucrado soluciones de este tipo y el seguimiento de sus aplicaciones (Botasso *et al.* 2002). Justamente este fue el objetivo principal perseguido con el Proyecto I+D llevado adelante en forma conjunta por el LEMaC y PSA Peugeot-Citroen, denominado “Empleo de micro-simulación de tránsito para análisis de soluciones viales”, con el código I-034 en el marco del Programa de Incentivos del Ministerio de Educación de la Nación.

Para este caso en estudio, se establecen como hipótesis previas a la realización de las corridas al hecho de que, por tratarse de una travesía urbana con las condiciones que ésta reúne, se considera que la movilidad vehicular debe ser priorizada (ya que se disminuyen las colisiones frontales entre vehículos por separación de sentidos de tránsito y se disminuyen las colisiones entre vehículos por alcance por segregación de tránsito y disminución de frenadas), dotando a los tránsitos alternativos, por ejemplo el peatonal, de facilidades propias para su circulación (Banco Mundial 2002), lo cual se cumple en el proyecto en cuestión. Por tal razón es esperable que reflejando mejoras en cuanto a la seguridad vial, y dentro de los límites de aceptación, se desarrollen mayores velocidades medias y se generen menores demoras, obteniéndose así menores tiempos en movimiento del vehículo en la red, tiempos totales del vehículo en la red, consumos de combustible y emisiones de gases de combustión.

Adicionalmente, en lo que hace puntualmente a este trabajo, el diseño metodológico contempla lo siguiente:

- La microsimulación se efectúa para el sistema de travesía urbana, en dos estados bien diferenciados, el estado actual sin proyecto y el estado con proyecto.
- Como insumos para la simulación se emplean los datos suministrados por DNV, más la recolección de datos adicionales por parte del LEMaC y adopción de datos complementarios por defecto, según las recomendaciones de bibliografía existente en tal sentido.
- Para ello se confeccionan dos planialtimetrías por separado. La primera conteniendo el sistema actual y la segunda con el sistema de proyecto. Estas

planialtimetrías contienen la traza de los caminos involucrados en el sistema, con las cotas principales mínimas necesarias (anchos de calzada, longitud de tramos, radios de curvas, etc.), sentidos de circulación identificados e identificación de la superficie de rodamiento (tipo y estado aproximado), para ambos escenarios.

- Para la simulación se emplea el software T.SIS 5.0, generándose videos en planta de las simulaciones en ambos escenarios e informes redactados con los principales indicadores obtenidos en las corridas.
- En función de los resultados del punto anterior, se confeccionan las conclusiones.

En función de esta metodología es que se desarrollan las tareas que se incluyen en el presente informe.

## **RESULTADOS**

### **Conformación de los escenarios y simulación**

Las primeras tareas efectuadas incluyen la adaptación de los planos de proyecto suministrados por la DNV a los requerimientos efectuados por el LEMaC, la manipulación de los registros de tránsito disponibles de acuerdo a las necesidades de ingreso de datos del software, y la medición o estimación de las demás variables de interés para la simulación. De acuerdo a las características propias del software a ser empleado en las simulaciones, son los datos necesarios y su forma de presentación. De todos modos, tanto en el aspecto geométrico como en el de solicitud de tránsito, éstos no escapan de las variables habituales para un proyectista vial. En último de los casos siempre queda la opción de tomar valores por defecto, los cuales se ven sustentados generalmente en una fuerte experiencia previa en tal sentido (ITT 2001).

Luego de este paso se inicia la modelización del sistema, para lo cual se debe determinar un aspecto que a simple vista parece secundario, pero conlleva consecuencias de importancia en cuanto a lo que a la simulación concierne. Este aspecto es el de establecer en donde el sistema a ser simulado comienza y adonde termina, es decir, el kilometraje inicio y fin del mismo. La relevancia de esta decisión reside en que, por un lado, el verdadero efecto sobre muchos de los indicadores resultantes de la simulación puede ser medido algunos metros aguas arriba o aguas abajo de la aparición de una intervención sobre una vía (Cal y Mayor 1995). Por esto, si se toman kilometrajes de inicio y fin muy acotados, es posible se esté dejando afuera a tramos de vía en donde se registra aun un efecto de la intervención generada, subvalorándose por lo tanto dicha intervención. Por otro lado, si se establecen límites holgados para el sistema, incluyendo kilometrajes inicio y fin muy alejados de una intervención, se están incorporando en exceso tramos

que no se ven afectados por la misma, viéndose disimulada la diferencia relativa entre un indicador en la situación con o sin proyecto, resultando nuevamente subvalorada la intervención.

Para el caso en cuestión se observan ambos escenarios, concluyendo que los puntos límites entre los cuales se producen las modificaciones del sistema en cuanto a comportamiento del tránsito. En este caso se sitúan entre el kilometraje 450 m y el kilometraje 1.950 m, de la situación sin proyecto, ya que más allá de estos puntos las mejoras físicas no se presumen generen modificaciones en el comportamiento del tránsito (implicando por lo tanto una longitud de simulación sobre la RN N°35 de 1.500 m).

Se destaca en resumen para este punto que, dependiendo de las condicionantes particulares de cada proyecto a ser analizado, debe hacerse la adopción del kilometraje inicio y fin, pudiendo éstos coincidir con el inicio y fin del proyecto, estar incluidos en el mismo o incluso excederlo. Esto último sobre todo si el proyecto incluye intervenciones de importancia en los kilometrajes cercanos a los extremos.

Una vez establecidos estos límites se pasa a conformar los modelos de ambos escenarios. La generalidad del software de microsimulación existente hoy en día en el mercado, prevé esta tarea a través de modelos de nodos y enlaces, identificando con los primeros puntos del

sistema en donde se produce de alguna forma intercambio de tránsitos o modificaciones en la circulación, y en los segundos tramos de circulación sin incorporación ni salida de tránsito. Para modelar los escenarios planteados a ser simulados, resulta necesario entonces crear la red de nodos y enlaces para cada caso. En soluciones de poca complejidad los modelos de los dos escenarios pueden resultar en cierto grado parecidos, simplificándose luego la comparación de indicadores tramo a tramo. Es decir, es posible que en ambos modelos un tramo de relevancia en cuestión mantenga una identificación y posición similar. Pero en modelos complejos, la configuración de nodos y enlaces puede resultar muy diferente entre ambos escenarios, complicando el posterior análisis de indicadores en ciertos tramos de la obra, ya que se presentan de manera muy disímil entre un escenario y el otro.

El caso en cuestión es uno de estos últimos, ya que el sistema representado resulta complejo y requiere, sobre todo en el caso del escenario con proyecto, la intercalación de nodos y enlaces de diversas características, entre nodos que en la situación sin proyecto resultaban continuos y unidos por un único enlace simple. Como un reflejo de esto, la situación sin proyecto contiene 48 nodos internos, mientras que la situación con proyecto contiene a 73 nodos internos. En las Figuras 1 y 2 se ven los modelos en la intersección más importante del sistema para ambas situaciones.

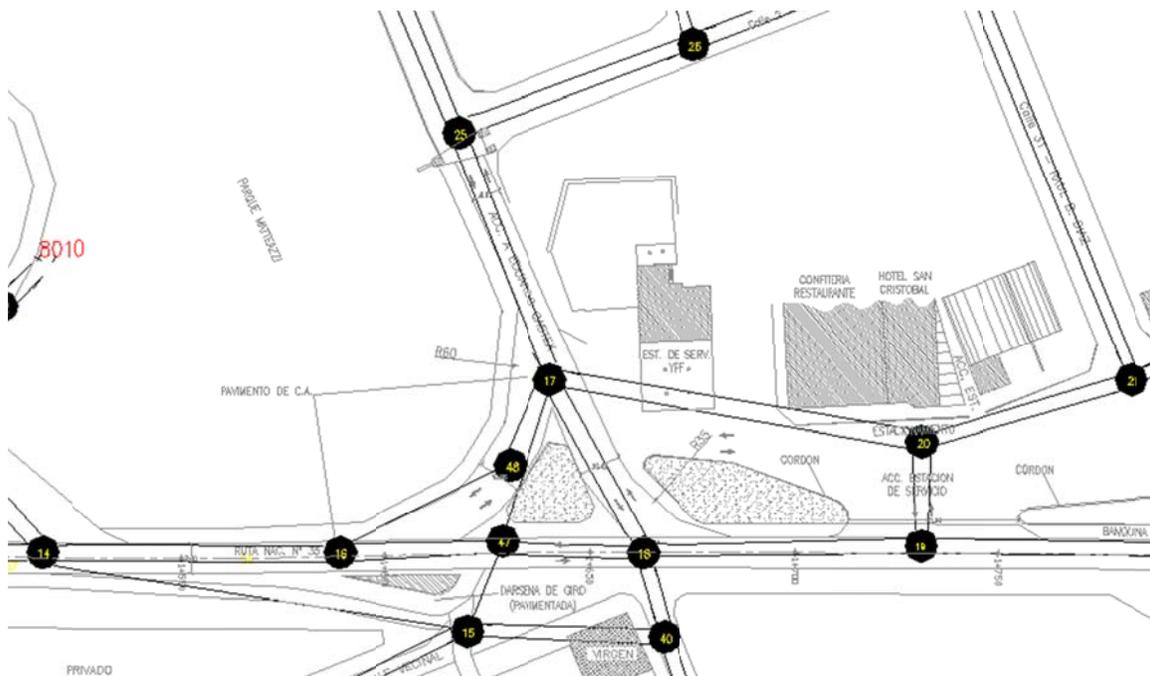


Figura 1. Intersección de RN35 con Acceso a Castex sin proyecto

A continuación se procede a establecer el nivel de tránsito a ser simulado. En este caso se utiliza como referencia el dato del censo de giro suministrado por DNV en la intersección.

El tránsito de referencia debe tomarse para volúmenes de tránsito en año futuro determinado (por ejemplo a 20 años, con su consecuente tasa de crecimiento anual) y en días y horarios de una demanda dada (en función de la estacionalidad y la variación semanal y horaria, por ejemplo mediante lo que se conoce en ingeniería vial como el punto de inflexión del diagrama de tráficos horarios con ordenamiento decreciente). Al afectar el tránsito real actual de esta manera, es muy factible se

llegue a analizar situaciones cercanas a la congestión, lo cual pone en evidencia parámetros tales como generación de colas, consumos excesivos de combustible, emisión de gases, etc., que en situaciones de baja demanda no se observan (TRB 2000) y no permiten sacar el máximo provecho del software empleado, ya sea que éstos se relacionen o no con consideraciones vinculadas con la seguridad vial. Por lo expuesto se recomienda en aplicaciones análogas buscar una frontera de análisis que represente un estado crítico del tránsito, en donde los indicadores resultantes permitan observar el aporte real de las intervenciones, siempre y cuando este estado resulte representativo y sea dable esperar durante la vida útil de la intervención.

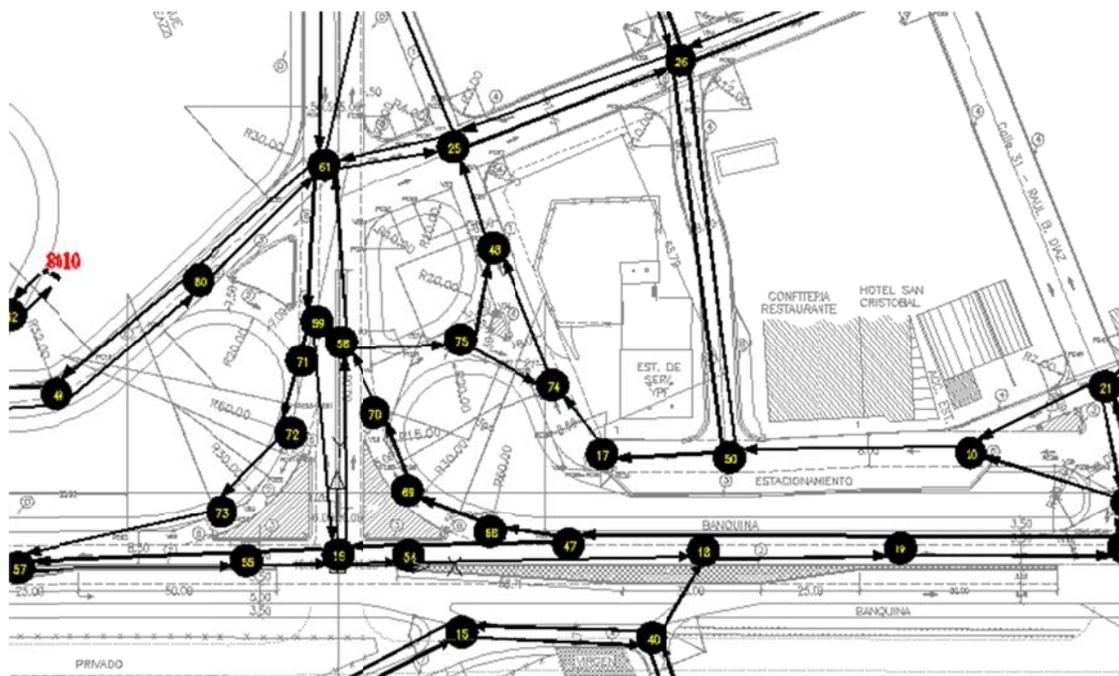


Figura 2. Intersección de RN35 con Acceso a Castex con proyecto

Nuevamente, dependiendo del software en cuestión que se utilice, es la manera de incorporación del tránsito a la simulación. De todos modos, en la generalidad de los casos esto se hace comenzando a trabajar sobre el escenario sin proyecto, generando los volúmenes de ingreso y porcentajes de giros necesarios en las correspondientes intersecciones hasta alcanzar la calibración del sistema respecto a los valores establecidos de diseño. Para ello existen diversas formas de asignación de estos volúmenes y porcentajes de giros, de entre las cuales se opta en este caso por un sistema de “prueba y error”.

Así, se analizan los tramos de interés aledaños a aquellos movimientos de los cuales se cuenta con valores de diseño, buscando obtener valores similares

entre lo simulado y lo establecido para el estado de diseño, mediante modificaciones en los volúmenes que ingresan al sistema por los nodos extremos del mismo y a los porcentajes de giros que se generan en cada nodo. En este caso, al contarse con tránsito real para la intersección entre la RN N°35 y el Acceso a Eduardo Castex, propiamente dicha, se efectúa un análisis de su esquema principal en la situación sin proyecto, el cual se observa en la Figura 3.

De este modo se establece una relación entre los movimientos de diseño y los respectivos enlaces mediante los cuales se materializan. En la Tabla 1 se vuelcan los registros horarios a ser obtenidos en la simulación para alcanzar la calibración del modelo.

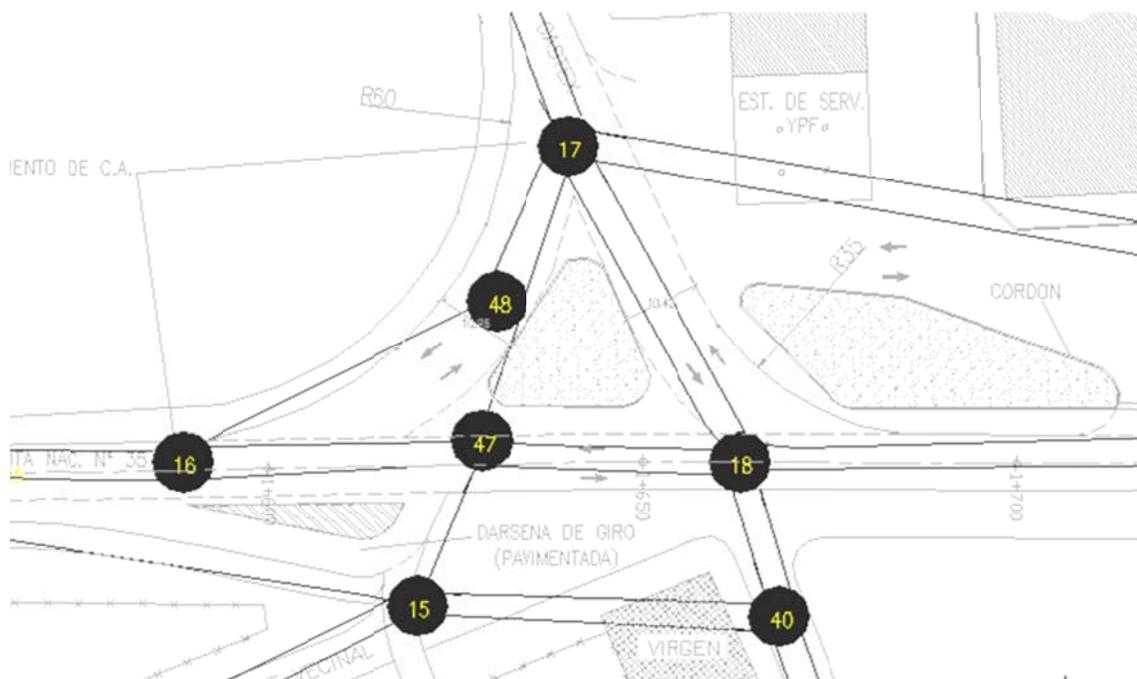


Figura 3. Nodos principales en intersección de RN35 y Acceso a Castex

Tabla 1. Relación entre enlaces y principales tránsitos de diseño

TRAMO	VOLUMEN
17-48	359
17-18	541
16-47	534
18-47	600
18-17	554
47-17	563

Luego de reiteradas aproximaciones se llega a los volúmenes simulados por el sistema versus los valores de diseño de la Tabla 2.

Tabla 2. Volúmenes de diseño en los enlaces principales y volúmenes simulados

TRAMO	VOLUMEN REAL	VOLUMEN SIMULADO
17-48	359	327
17-18	541	570
16-47	534	615
18-47	600	640
18-17	554	484
47-17	563	552

Si bien estos valores no coinciden con exactitud, resultan medianamente aproximados. Luego de reiterados intentos por ajustarlos más a los establecidos por diseño, en los cuales se obtienen resultados similares e incluso con menor ajuste, se decide tomar a los mismos como válidos, dándose por alcanzada la calibración del escenario sin proyecto.

La calibración del escenario con proyecto resulta más

compleja, dado que la intersección principal de la travesía urbana se modifica notoriamente, como ya se observara en la Figura 2. De esta forma se pierde la relación directa entre un enlace y un movimiento de diseño existente en el escenario sin proyecto, ya que estos últimos pueden materializarse en más de un enlace, o un único enlace puede encerrar tramos de más de un movimiento. Por lo expuesto, para calibrar el escenario con proyecto respecto del sin proyecto, se

opta por analizar los volúmenes comparativos generados en tramos más allá de la intersección propiamente dicha, pero que estuvieran fuertemente

condicionados por la misma. Para ello se seleccionaron los enlaces que se observan en la Tabla 3 para ambos escenarios.

**Tabla 3.** Relación entre enlaces del escenario sin proyecto y con proyecto, y volúmenes obtenidos en ambas situaciones

Escenario sin proyecto			Escenario con proyecto	
TRAMO	VOLUMEN		TRAMO	VOLUMEN
13-14	1060	→	13-14	1043
14-13	949	→	14-13	908
22-24	1212	→	22-24	1202
25-28	1067	→	63-28	1165

Como resultante de la aplicación de esta metodología se considera tanto al escenario simulado sin proyecto como al con proyecto como calibrados y validados.

Una vez alcanzada la calibración de ambos escenarios se procede a ejecutar las corridas de los mismos. Los archivos de salida de datos obtenidos así resultan muy voluminosos como para ser volcados en esta presentación, pero vale la pena comentar su estructura. En su parte inicial contienen los porcentajes de giro especificados en cada nodo, los volúmenes en nodos de ingreso-egreso, los valores de la caracterización vehicular adoptados, etc., es decir los valores impuestos para la simulación. Seguidamente, se observa cómo se ha logrado el efecto buscado de escenarios cercanos a la congestión, ya que para ambas situaciones se producen numerosas detenciones de vehículos con formación de colas agua arriba (en inglés spillbacks), pero todas con un momento de culminación cercano, lo que implica que no se ha alcanzado la congestión total del sistema en ningún momento.

Finalizando el reporte se vuelcan los resultados de la simulación, señalando para cada categoría de vehículo en cada tramo y para el sistema en su conjunto, elementos tales como formaciones de cola, tiempos de demora, tiempo de recorrido, velocidad media de operación, emisión de gases de combustión (HC, CO,

NO), consumo de combustible, etc.

**Análisis de los resultados obtenidos**

Como ya se dijera, por tratarse de una travesía urbana completa, los sistemas simulados exceden notoriamente a la intersección de la RN N°35 y el Acceso a Eduardo Castex propiamente dicha, incluyéndose a obras adicionales contempladas en el proyecto, como son los caminos de servicio, trochas de viraje, etc. Por esta razón las mejoras generadas específicamente en la intersección principal se ven proporcionalmente disimuladas en los datos generales arrojados por la simulación, no obstante lo cual es necesario analizarlos, dado que se generan con el proyecto recorridos diferentes a los sin proyecto para la realización de las diversas maniobras posibles. Por esto un sistema con proyecto, analizado en forma global, resulta válido si en sus parámetros generales, más allá de que estos no estén directamente relacionados con la seguridad vial, se obtienen valores “iguales o mejores”, en términos de las hipótesis iniciales, a los de la situación sin proyecto (Rivera et al. 2007). Considerando por lo tanto como un 100 % a los valores obtenidos en la situación sin proyecto para el sistema total, se expresan en la Tabla 4 las “mejoras porcentuales” generadas en cada parámetro en la situación con proyecto en función de este valor, dando cumplimiento a las hipótesis enunciadas previamente.

**Tabla 4.** Comparativo de valores promedios obtenidos sin y con proyecto

COMPARATIVO	PARA TOTALIDAD DE VEHICULOS				POR VEHICULO			EMISION DE GASES		
	MOVIMIENTO (veh.milla)	TIEMPO EN MOVIMIENTO	TIEMPO TOTAL	VELOCIDAD PROMEDIO	DEMORA POR MILLA	TIEMPO TOTAL POR MILLA	CONSUMO DE COMBUSTIBLE (galones)	HC (g/milla)	CO (g/milla)	NO (g/milla)
		(horas)	(horas)	(mph)	(min/milla)	(min/milla)				
SIN PROYECTO	2362,12	73,19	95,78	24,66	0,57	2,43	359,43	11,79	215,24	30,02
CON PROYECTO	2433	72,54	95,16	25,57	0,56	2,35	346,89	11,34	209,49	28,86
MEJORA PORCENTUAL		0,9%	0,6%	3,7%	1,8%	3,3%	3,5%	3,8%	2,7%	3,9%

En la Tabla 4 se observa el parámetro de movimiento dado por la cantidad de vehículos en el sistema por su recorrido, resultando valores cercanos para la situación sin y con proyecto. Este indicador demuestra que los

sistemas son comparables (en realidad es un poco mayor en la situación con proyecto, lo cual pone al análisis del lado de la seguridad).

Por último se efectúa un análisis comparativo entre los mismos parámetros de la Tabla 4, pero esta vez tomando en particular cada uno de los tramos en la calibración y validación del escenario con proyecto respecto del escenario sin proyecto, lo cual se vuelca en

la Tabla 5. En ésta se observa como nuevamente todos los parámetros comparativos analizados en todos los tramos tomados como indicadores han presentado una mejora en menor o mayor medida.

**Tabla 5.** Comparativo de indicadores entre tramos análogos del escenario con y sin proyecto

	PARA TOTALIDAD DE VEHICULOS			POR VEHICULO			EMISION DE GASES		
	TIEMPO EN MOVIMIENTO	TIEMPO TOTAL	VELOCIDAD PROMEDIO	DEMORA POR MILLA	TIEMPO TOTAL POR MILLA	CONSUMO DE COMBUSTIBLE	HC	CO	NO
	(min)	(min)	(mph)	(min/milla)	(min/milla)	(galones)	(g/milla)	(g/milla)	(g/milla)
13-14 (SIN PROY)	196,1	248	27,5	0,46	2,18	17,12	11,64	210,47	29,71
13-14 (CON PROY)	58,6	73,2	27,8	0,43	2,15	4,46	10,03	177,84	24,56
MEJORA PORCENTUAL	70,1%	70,5%	1,1%	6,5%	1,4%	73,9%	13,8%	15,5%	17,3%

	PARA TOTALIDAD DE VEHICULOS			POR VEHICULO			EMISION DE GASES		
	TIEMPO EN MOVIMIENTO	TIEMPO TOTAL	VELOCIDAD PROMEDIO	DEMORA POR MILLA	TIEMPO TOTAL POR MILLA	CONSUMO DE COMBUSTIBLE	HC	CO	NO
	(min)	(min)	(mph)	(min/milla)	(min/milla)	(galones)	(g/milla)	(g/milla)	(g/milla)
14-13 (SIN PROY)	175,5	271,8	22,5	0,95	2,67	16,66	12,94	229,83	33,05
14-13 (CON PROY)	51	68,8	25,8	0,6	2,33	4,23	12,5	214,81	32,48
MEJORA PORCENTUAL	70,9%	74,7%	14,7%	36,8%	12,7%	74,6%	3,4%	6,5%	1,7%

	PARA TOTALIDAD DE VEHICULOS			POR VEHICULO			EMISION DE GASES		
	TIEMPO EN MOVIMIENTO	TIEMPO TOTAL	VELOCIDAD PROMEDIO	DEMORA POR MILLA	TIEMPO TOTAL POR MILLA	CONSUMO DE COMBUSTIBLE	HC	CO	NO
	(min)	(min)	(mph)	(min/milla)	(min/milla)	(galones)	(g/milla)	(g/milla)	(g/milla)
22-24 (SIN PROY)	108,1	122,1	30,8	0,22	1,95	8,8	11,15	211,98	27,74
22-24 (CON PROY)	90,3	101,2	31,1	0,21	1,93	6,91	10,44	195,32	26,05
MEJORA PORCENTUAL	16,5%	17,1%	1,0%	4,5%	1,0%	21,5%	6,4%	7,9%	6,1%

	PARA TOTALIDAD DE VEHICULOS			POR VEHICULO			EMISION DE GASES		
	TIEMPO EN MOVIMIENTO	TIEMPO TOTAL	VELOCIDAD PROMEDIO	DEMORA POR MILLA	TIEMPO TOTAL POR MILLA	CONSUMO DE COMBUSTIBLE	HC	CO	NO
	(min)	(min)	(mph)	(min/milla)	(min/milla)	(galones)	(g/milla)	(g/milla)	(g/milla)
25-28 (SIN PROY)	181,7	219,9	20,8	0,5	2,88	11,21	10,68	176,24	25,97
63-28 (CON PROY)	81,2	173,8	26,2	0,47	2,69	10,62	7,8	167,51	22,72
MEJORA PORCENTUAL	55,3%	21,0%	26,0%	6,0%	6,6%	5,3%	27,0%	5,0%	12,5%

### Generación de videos

Con las simulaciones generadas se confeccionan numerosos archivos de video, que son enviados a la DNV para ser empleados en presentaciones ante las diversas autoridades competentes y la población en general. Esta herramienta complementaria facilita notoriamente la visualización de las mejoras involucradas en las condiciones de seguridad vial mediante las intervenciones previstas, sobre todo con aquellas personas que no se relacionan con la ingeniería vial, pero guardan interés particular con la obra en cuestión. Se recomienda hacer hincapié en este aspecto en presentaciones de los proyectos a la comunidad, para despertar el interés de los concurrentes y facilitar su comprensión en cuanto a las mejoras involucradas. En la Figura 4 se ve una imagen de uno de los videos generados, aclarando que existen en el mercado software que permiten la obtención de animaciones de mayor calidad, incluso en 3 dimensiones.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Es posible evaluar de manera indirecta las mejoras en cuanto a la seguridad vial generadas mediante una intervención vial con el empleo de la microsimulación, como una herramienta alternativa o complementaria, por ejemplo, a una auditoria de seguridad vial.
- Esto se logra analizando los indicadores obtenidos en las corridas de simulación para los escenarios con y sin proyecto, basándose en hipótesis iniciales de cómo estos indicadores reflejan mejoras en la seguridad vial.
- Para el caso de travesías urbanas como la analizada, en donde la circulación de los tránsitos alternativos al vehicular se ve totalmente resuelta con intervenciones específicas en tal sentido, las mejoras en cuanto a seguridad vial se pueden reflejar mediante, dentro de los límites de aceptación, mayores velocidades medias y menores demoras, obteniéndose así menores tiempos en movimiento del vehículo en la red, tiempos totales

del vehículo en la red, consumos de combustible y

emisiones de gases de combustión.

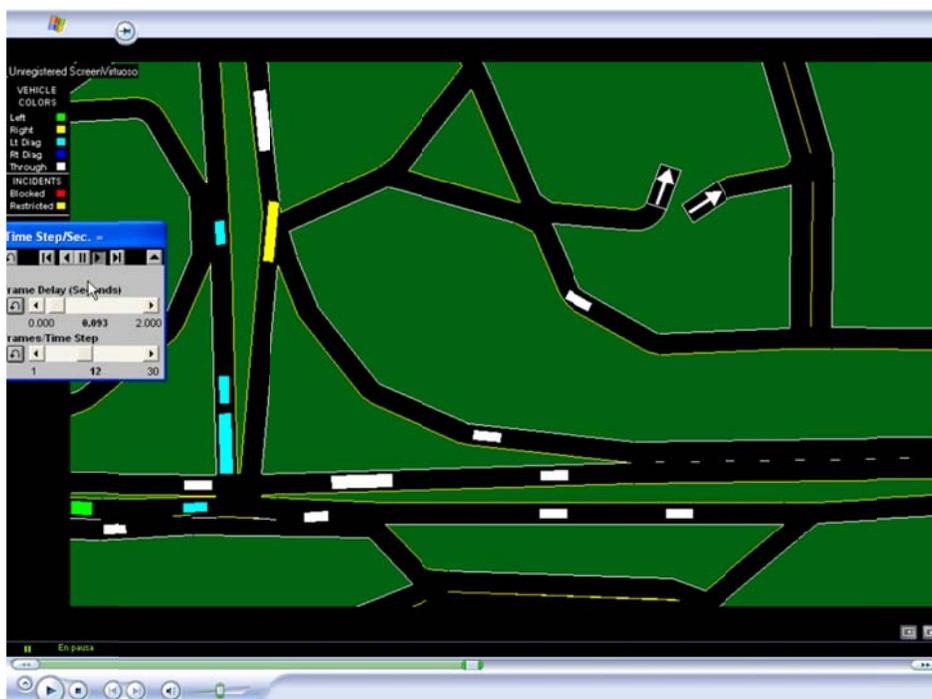


Figura 4. Imagen de un video generado para el escenario con proyecto

- Los límites físicos del sistema a ser simulado deben observarse con detenimiento para no dejar afuera áreas de interés, ni incluir en exceso zonas en donde las intervenciones no produzcan efecto.
- El tránsito conviene, siempre y cuando refleje una realidad esperable, se ubique cercano a condiciones de congestión, para que la simulación permita obtener indicadores sensibles en tal sentido.
- La calibración del escenario sin proyecto con respecto al tránsito de diseño puede establecerse mediante un análisis de “prueba y error” mediante la aplicación de modificaciones parciales al modelo y la constatación de resultados similares en los tránsitos en tramos simulados, con respecto a movimientos de diseño.
- La calibración del escenario con proyecto con respecto al escenario sin proyecto, puede efectuarse en forma análoga, pero tomando tramos más alejados de los puntos de conflicto principales, ya que sobre estos es muy posible se introduzcan modificaciones relevantes.

## BIBLIOGRAFIA

Banco Mundial (2002), *Ciudades en movimiento*, TWU-44.

Botasso G., Rivera J., Aguirre L., Mikelaïtes L. (2002), *Sistema de gestión de seguridad vial por medio de redacción de planes de ordenamiento vial municipal*, Provia Panamericano de Seguridad Vial – Buenos Aires, ISBN 987-20435-0-7, Argentina.

Cal y Mayor R., Cárdenas J. (1995), *Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones*, Alfaomega, México.

Gil A. (2009), *El consultorio legal vial*, SIPLA-CSL Asturias, España.

Hay W. (1998), *Ingeniería de transporte*, Limusa, México.

ITT (2001), *TSIS user guide*, FHWA, EEUU.

Rivera J., Das Neves G., Villanueva M., Berardo M. G., Jessler M. (2007), *Diseño de soluciones viales rurales y urbanas. Empleo de micro-simulación*, Universidad Tecnológica Nacional, ISBN 978-950-42-0086-4, Argentina.

TRB (2000), *Highway Capacity Manual 2000*, Transportation Research Board, National Research Council, EEUU.

Vidal Roca (2007), *Aplicación de modelos de micro-simulación en la ingeniería de tránsito*, Revista Vial, ISSN 0329-1146, N°56 pág. 82-85, Argentina.

---

Este documento debe citarse como:

Rivera, J., Botasso, G., Villanueva, M., Brizuela, L. (2010). **Análisis de la seguridad vial mediante microsimulación de una travesía urbana, caso de aplicación en Argentina**. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 14-3, pp 139-148, ISSN: 1665-529-X.