

## **APLICACIÓN DE UN CASO EN ARGENTINA DE ANALISIS DE LA SEGURIDAD VIAL MEDIANTE MICROSIMULACION DE UNA TRAVESIA URBANA**

### **APPLICATION OF A CASE IN ARGENTINA FOR ROAD SAFETY ANALYSIS USING MICROSIMULATION OF URBAN CROSSING**

JULIÁN RIVERA, GERARDO BOTASSO, MARTÍN VILLANUEVA, LUCIANO BRIZUELA

*Centro de Investigaciones Viales LEMaC, UTN La Plata. Calle 60 y 124, La Plata (1900), Bs. As., Argentina. Te/  
Fax: 0054-221-4890413, lemac@frlp.utn.edu.ar Web: www.frlp.utn.edu.ar/lemac*

#### **RESUMEN**

Representantes de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) 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” de la obra “Paso de la Ruta Nacional N°35 por Eduardo Castex”, para valorar el incremento en la “seguridad vial” del mismo. Así, se confeccionó una propuesta de trabajo sobre la base de que un aspecto no cuantificable en forma directa por simulación, es decir la “seguridad vial”, puede ser valorada indirectamente mediante la observación de indicadores de comportamiento del tránsito (velocidades medias, frenadas, segregación de tránsito, entre otros) y su correcta interpretación. Dicha propuesta fue llevada adelante y sus conclusiones fueron presentadas ante diversas autoridades, quienes se apoyaron en las mismas para la toma de decisiones al respecto. Esta comunicación es una memoria de dicho trabajo de interrelación entre Vialidad-Universidad-Estado. El método empleado ha sido la simulación de los escenarios con y sin proyecto, y la observación de los indicadores obtenidos por esta vía para determinar la mejora o no en cuanto a las condiciones de “seguridad vial”. Como resultado se han obtenido indicadores que, mediante la interpretación establecida como hipótesis de comportamiento, cuantifican las mejoras en cuanto a estas condiciones de “seguridad vial” implicadas por el proyecto. Las conclusiones arribadas dan sostén a la recomendación de empleo de esta metodología de trabajo en futuras aplicaciones análogas.

**PALABRAS CLAVE:** Microsimulación de tránsito, Seguridad Vial, Travesías Urbanas, Corredores viales

#### **ABSTRACT**

Representative people from the Argentine National Road Department from La Pampa consulted with professionals who work in the LEMaC, Road Investigation Center from National Technological University - Regional Faculty of La Plata, about the possibility of simulating by computer the scenarios with and without a project of the “cross-town link” called “Section of National Highway N° 35 through the town of Eduardo Castex”, in order to evaluate the increase in the “road safety”. A work proposal was made, which was developed taking into account that an aspect that is not measurable such as “road safety” could be measured by observation of transit behaviour indicators (average speed, blocked wheel production, transit segregation, etc.) and their correct interpretation. This proposal was developed and its conclusions were presented to several authorities, who made decisions based on it. The present paper is a memory of that work made thanks to the interrelation among the Road Department-University-Estate. The method applied for its development has been the simulation of the scenarios with and without a project, and the observation of the indicators obtained in this way in order to determine the improvement or not regarding the “road safety” conditions. As a result indicators were obtained, through established interpretation as a behaviour hypothesis. This indicators point out and quantify the improvements concerning the “road safety” conditions implied in the project. Achieved conclusions give support to the recommendation for the use and employment of this work methodology in the next similar applications.

**KEY WORDS:** Road microsimulation, Road safety, Cross-town link, Traffic corridor

#### **INTRODUCCIÓN**

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 auditorías 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 auditorías de seguridad vial empleadas en los últimos años.

## MATERIALES Y MÉTODOS

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”, 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, entre otros (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 mini-rotonda, que al simularse el tramo en estudio se registrarán 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 en análisis en particular requiere, como una de las primeras medidas a ser adoptadas, un estudio profundo de cómo un indicador obtenido por microsimulación nos 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 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 contempló lo siguiente:

- La microsimulación se efectuó 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 emplearon 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 confeccionaron 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, entre otros), sentidos de circulación identificados e identificación de la superficie de rodamiento (tipo y estado aproximado), para ambos escenarios.

- Para la simulación se empleó 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 confeccionaron las conclusiones.

En función de esta metodología es que se han desarrollado 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, serán los datos necesarios y su forma de presentación. De todos modos, tanto en el aspecto geométrico como en el de sollicitación de tránsito, estos 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 dio inicio a la modelización del sistema, para lo cual se debió 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, las progresivas 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 progresivas de inicio y fin muy acotadas, 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 progresivas inicio y fin muy alejadas 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 observaron ambos escenarios, concluyendo cuales son los puntos límites entre los cuales se producen las modificaciones del sistema en cuanto a comportamiento del tránsito. En este caso se situaron entre la progresiva 450 m y la progresiva 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, deberá hacerse la adopción de las progresivas inicio y fin, pudiendo éstas coincidir con el inicio y fin del proyecto, estar incluidas en el mismo o incluso excederlo. Esto último sobretodo si el proyecto incluye intervenciones de importancia en las progresivas cercanas a los extremos.

Una vez establecidos estos límites se pasó 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 modelizar 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 73 nodos internos. En las Figuras 1 y 2 se ven los modelos en la intersección más importante del sistema para ambas situaciones.

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 diseño 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 tránsitos horarios con

ordenamiento decreciente). Al afectar el tránsito 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, entre otros, que en situaciones de baja demanda no se observan (TRB 2000) y no permiten sacar el máximo provecho del software empleado, ya sea que estos 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 real aporte de las intervenciones, siempre y cuando este estado resulte representativo y sea dable esperar durante la vida útil de la intervención.

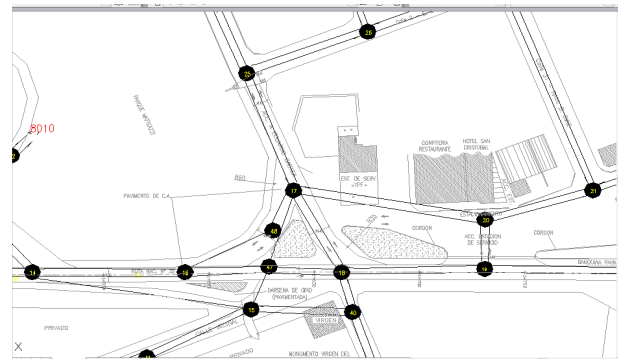


Figura 1. Intersección de RN35 con Acceso a Castex sin proyecto

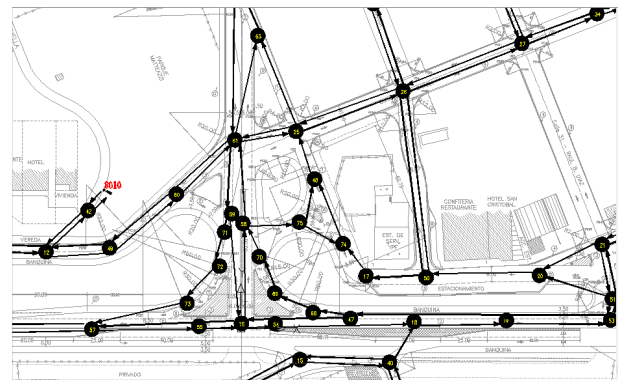


Figura 2. Intersección de RN35 con Acceso a Castex con proyecto

Nuevamente, dependiendo del software en cuestión que se utilice, será 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 optó en este caso por un sistema de “a prueba y error”.

Así, se analizaron 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 de diseño para la intersección entre la RN N°35 y el Acceso a Eduardo Castex, propiamente dicha, se efectuó un análisis de su esquema principal en la situación sin proyecto, el cual se observa en la Figura 3.

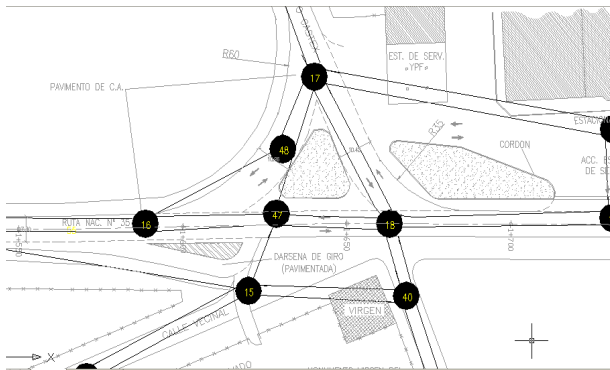


Figura 3. Nodos principales en intersección de RN35 y Acceso a Castex

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.

Tabla 1. Relación entre enlaces y principales tránsitos de diseño

| TRAMO | VOLUMEN |
|-------|---------|
| 17-48 | 359     |
| 17-18 | 541     |
| 16-47 | 534     |
| 18-49 | 600     |
| 18-17 | 554     |
| 47-17 | 563     |

Luego de reiteradas aproximaciones se arriba 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              |
| 18-49 | 600          | 640              |
| 18-17 | 554          | 484              |
| 47-17 | 563          | 552              |

Si bien estos valores no coinciden con exactitud, resultan aproximados, presentando los volúmenes reales una media de 525 veh y los volúmenes simulados una media de 531 veh, es decir una diferencia porcentual cercana al 1 %. 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 si 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, entre otros, 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 han producido 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, entre otros.

### III.2. 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 las colectoras, dársenas de giro, entre otros. 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 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.

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

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

|                   | COMPARATIVO  | PARA TOTALIDAD DE VEHICULOS |              |                    | POR VEHICULO     |                        | CONSUMO DE COMBUSTIBLE | EMISOR DE GASES |           |           |
|-------------------|--------------|-----------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------|-----------|
|                   | MOVIMIENTO   | TIEMPO EN MOVIMIENTO        | TIEMPO TOTAL | VELOCIDAD PROMEDIO | DEMORA POR MILLA | TIEMPO TOTAL POR MILLA |                        | HC              | CO        | NO        |
|                   | (veh. milla) | (horas)                     | (horas)      | (mph)              | (min/milla)      | (min/milla)            |                        | (g/milla)       | (g/milla) | (g/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%      |

|                   | PARA TOTALIDAD DE VEHICULOS |              |                    | POR VEHICULO     |                        | CONSUMO DE COMBUSTIBLE | EMISOR DE GASES |           |           |
|-------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------|-----------|
|                   | TIEMPO EN MOVIMIENTO        | TIEMPO TOTAL | VELOCIDAD PROMEDIO | DEMORA POR MILLA | TIEMPO TOTAL POR MILLA |                        | HC              | CO        | NO        |
|                   | (min)                       | (horas)      | (mph)              | (min/milla)      | (min/milla)            |                        | (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     |                        | CONSUMO DE COMBUSTIBLE | EMISOR DE GASES |           |           |
|-------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------|-----------|
|                   | TIEMPO EN MOVIMIENTO        | TIEMPO TOTAL | VELOCIDAD PROMEDIO | DEMORA POR MILLA | TIEMPO TOTAL POR MILLA |                        | HC              | CO        | NO        |
|                   | (horas)                     | (horas)      | (mph)              | (min/milla)      | (min/milla)            |                        | (g/milla)       | (g/milla) | (g/milla) |
| 13-14 (SIN PROY)  | 175,5                       | 271,8        | 22,5               | 0,95             | 2,67                   | 16,66                  | 12,94           | 229,83    | 33,05     |
| 13-14 (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%      | 1,4%      |

|                   | PARA TOTALIDAD DE VEHICULOS |              |                    | POR VEHICULO     |                        | CONSUMO DE COMBUSTIBLE | EMISOR DE GASES |           |           |
|-------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------|-----------|
|                   | TIEMPO EN MOVIMIENTO        | TIEMPO TOTAL | VELOCIDAD PROMEDIO | DEMORA POR MILLA | TIEMPO TOTAL POR MILLA |                        | HC              | CO        | NO        |
|                   | (horas)                     | (horas)      | (mph)              | (min/milla)      | (min/milla)            |                        | (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     |                        | CONSUMO DE COMBUSTIBLE | EMISOR DE GASES |           |           |
|-------------------|-----------------------------|--------------|--------------------|------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------|-----------|
|                   | TIEMPO EN MOVIMIENTO        | TIEMPO TOTAL | VELOCIDAD PROMEDIO | DEMORA POR MILLA | TIEMPO TOTAL POR MILLA |                        | HC              | CO        | NO        |
|                   | (horas)                     | (horas)      | (mph)              | (min/milla)      | (min/milla)            |                        | (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%     |

### III.3. Generación de videos

Con las simulaciones generadas se han confeccionado numerosos archivos de video, que han sido 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.

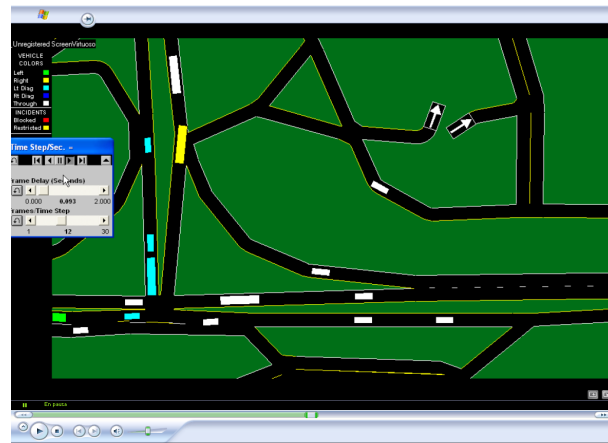


Figura 4. Imagen de un video generado para el escenario con proyecto

### V. 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.

- 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 de diseño 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 “a 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.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANCO MUNDIAL. 2002. Ciudades en movimiento, TWU-44.

BOTASSO G., RIVERA J., AGUIRRE L., MIKELAITES 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.

ITT 2001. TSIS user guide, FHWA, EEUU.

RIVERA J., DAS NEVES G. *et al.* 2007. Diseño de soluciones viales rurales y urbanas. Empleo de micro-simulación, Universidad Tecnológica Nacional, ISBN 978-950-42-0086-4, Argentina.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. 2000. Highway Capacity Manual 2000, 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.