



Banco Interamericano de Desarrollo  
DIVISIÓN DE TRANSPORTE (TSP)

# Fortaleciendo al sector académico para reducir los siniestros de tránsito en América Latina: Investigaciones y Casos de Estudio en Seguridad Vial

Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

*Alejandro Taddia*  
*Ana María Pinto*  
*Eduardo Café*  
*Manuel Rodríguez*  
*Michelle Viegas*  
*Sissi de la Peña*

Centro Internacional de  
Formación para Autoridades Locales (CIFAL)

*Rafael Cesar da Costa*  
*Rubén Saucedo*

ABRIL 2014



**unitar**

United Nations Institute for Training and Research



**cifal**  
Carribe

## © Banco Interamericano de Desarrollo, 2014

Copyright © 2014 Banco Interamericano de Desarrollo. Todos los derechos reservados; este documento puede reproducirse libremente para fines no comerciales.

[www.iadb.org/seguridadvial](http://www.iadb.org/seguridadvial)

Las opiniones expresadas en esta publicación son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

Se prohíbe el uso comercial no autorizado de los documentos del Banco, y tal podría castigarse de conformidad con las políticas del Banco y/o legislaciones aplicables.

Agradecemos al comité académico Ad Hoc que ofició de jurado, a la Sra. Corina Puppo, Directora Nacional del Observatorio Vial en la Agencia Nacional de Seguridad Vial de Argentina y Secretaria del OISEVI; a la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, representada por el Sr. Juan E. Perrotat; a la Arq. Tatiana Gadda de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná (UTFPR); al Sr. Kavi Bhalla, de la Escuela de Salud Pública Johns Hopkins Bloomberg; al Sr. Bernardo Baranda, Director Regional Latinoamérica del Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo de México; al Sr. Alberto Escobar, Gerente de Seguridad Vial y Política Pública del Automóvil Club de Chile (ACCHI); y al Sr. Rubén Saucedo, Representante Internacional del Centro Internacional de Formación de Actores Locales (CIFAL) de Curitiba, Brasil. También a quienes han colaborado en el rol de asesoría y administración para promover, poner en práctica, difundir, presentar, y llevar a buen término esta iniciativa, a Rafael Cesar da Costa, Coordinador Técnico de CIFAL y una especial mención al Instituto de las Naciones Unidas para la Formación e Investigación (UNITAR), por medio del Sr. Alexander Mejía, gerente del Programa de Cooperación Descentralizada.

Esta monografía fue desarrollada por la División de Transportes en colaboración con la Oficina de Alianzas Estratégicas del BID.

### **Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo.**

Fortaleciendo al sector académico para reducir los siniestros de tránsito en América Latina: investigaciones y casos de estudio en seguridad vial / Alejandro Taddia ... [et al.].

p. cm. – (Monografía del BID ; 195)

1. Traffic safety—Latin America—Case studies. I. Taddia, Alejandro. II. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Transporte. III. Serie.

Códigos JEL: R4, R40, R41, R49, R50, R58.

IDB-MG-195

Contacto BID: Alejandro Taddia ([alejandrota@iadb.org](mailto:alejandrota@iadb.org))



# Fortaleciendo al sector académico para reducir los siniestros de tránsito en América Latina: Investigaciones y Casos de Estudio en Seguridad Vial

**Banco Interamericano de Desarrollo (BID)**

*Alejandro Taddia  
Ana María Pinto  
Eduardo Café  
Manuel Rodríguez  
Michelle Viegas  
Sissi de la Peña*

**Centro Internacional de  
Formación para Autoridades Locales (CIFAL)**

*Rafael Cesar da Costa  
Rubén Saucedo*



**unitar**

United Nations Institute for Training and Research



**cifal**  
Curitiba



## PRÓLOGO

En las últimas décadas, la región de América Latina y el Caribe (ALC) se ha visto severamente afectada por el alto índice de mortalidad causada por las incidencias de tránsito. A la fecha, los siniestros viales son una de las primeras causas de muerte en la región, principalmente entre personas de 5 a 44 años. Esta situación es responsable de más de 100.000 muertes al año, y aproximadamente más de 5 millones de personas resultan lesionadas.

Organismos internacionales como las Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud han tomado el liderazgo para implementar acciones específicas a través de la iniciativa para la “Década de Acción para la seguridad vial 2011-2020”. Con este marco de referencia, el BID lanzó su Estrategia de Seguridad Vial y su Plan de Acción 2010-2015, para actuar de manera coordinada con socios estratégicos hacia la mejora de la seguridad vial y la reducción de las consecuencias del tráfico y la siniestralidad en sus países miembros.

Una de las áreas de acción de la Estrategia de Seguridad Vial del BID es fomentar la transferencia de conocimiento y de buenas prácticas en seguridad vial a lo largo de la región, por medio de alianzas estratégicas con el sector público, el sector privado, la sociedad civil y organizaciones no gubernamentales. En este contexto, el BID apoyó la realización del “Primer concurso de casos de estudio en Seguridad Vial para el ámbito universitario en Latinoamérica y el Caribe”, una iniciativa del Centro Internacional de Formación de Actores Locales (Cifal Curitiba) y del Instituto de las Naciones Unidas para la Formación y la Investigación (UNITAR), con el objetivo de formar la Red Latinoamericana de Universidades para la Seguridad Vial. El concurso consistió en seleccionar tres casos de estudio provenientes de universidades latinoamericanas que presenten soluciones viables, en el ámbito de la seguridad vial, a los países de la región.

Esta publicación, resultado de la convocatoria, divulga nuevos conocimientos académicos en materia de seguridad vial, lanzando buenas prácticas en recolección de datos de accidentes, en capacitación para conductores más responsables y en atención pre hospitalaria en accidentes de tránsito, con posibilidad de réplica de metodologías y experiencias en los países de la región. Los estudios demuestran el potencial de las alianzas entre el sector académico, los gobiernos y asociaciones no gubernamentales en la construcción de esfuerzos conjuntos para mejorar la efectividad de las medidas de seguridad vial en América Latina y el Caribe. Esas alianzas son indispensables para promover una cultura de cambio y responsabilidad vial en la sociedad, aspirando, así, a una región libre de muertes por falta de seguridad en las vías.

***Néstor Roa***

Jefe de la División de Transporte  
Departamento de Infraestructura y Medio Ambiente  
Banco Interamericano de Desarrollo

***José Antônio Fares***

Director Ejecutivo  
CIFAL Curitiba



## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
Siniestros en las vías: un problema global .....	9
Iniciativas e intervenciones .....	10
El primer concurso de casos de estudio en seguridad vial .....	10
Los casos ganadores .....	11
<b>USO DE RECURSOS DE VISUALIZACIÓN 3D Y SIMULADOR DE MANEJO VIRTUAL PARA APOYO A LOS ESTUDIOS SOBRE SEGURIDAD EN RUTAS</b> .....	<b>12</b>
1. Contexto general en el país y descripción del problema.....	13
2. Objetivos del estudio .....	14
3. Pilares de la Década de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020 directamente relacionados al estudio. ....	14
4. Público Objetivo.....	15
5. Metodología empleada en el estudio.....	15
6. Resultados y evaluación del trabajo .....	19
7. Informaciones adicionales/Comentarios.....	21
8. Referencias Bibliográficas.....	22
<b>HERRAMIENTAS PARA EL RECONOCIMIENTO DE LOS FACTORES QUE CAUSAN LOS ACCIDENTES DE TRÁFICO: ESTUDIO DE CASO EN BRASIL</b> .....	<b>24</b>
1. Introducción: Contexto general en el país y la descripción del problema.....	25
2. Objetivos del estudio.....	25
3. Aplicación práctica.....	27
4. Pilares de la Década de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020 directamente relacionados con el estudio.....	27
5. Audiencia.....	27
6. Metodología empleada en el estudio.....	28
7. Resultados y evaluación del trabajo. ....	31
8. Referencias Bibliográficas.....	39
<b>MODELOS DE LOCALIZACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DE LA ATENCIÓN PRE HOSPITALARIA DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO, EN MEDELLÍN, COLOMBIA.</b> .....	<b>40</b>
1. Introducción, contexto general en el país y descripción del problema.....	41
2. Objetivos del estudio.....	43
3. Pilares del Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020.....	43
4. Población objetivo.....	43
5. Metodología empleada en el estudio.....	44
6. Resultados y evaluación del trabajo .....	49
7. Informaciones adicionales / Comentarios.....	52
8. Referencias Bibliográficas.....	55

An aerial photograph of a city, likely Bogotá, Colombia, featuring a large stadium (Estadio El Campesino) and a multi-lane highway. The scene is bathed in a warm, golden light, suggesting late afternoon or early morning. The stadium has a distinctive tiered roof structure. The highway is filled with cars, and a tall, cylindrical monument stands near the intersection. The background shows a dense urban landscape with various buildings and trees.

# Introducción

## Siniestros en las vías: un problema global

El constante crecimiento económico y poblacional, los cambios tecnológicos y la creciente urbanización de la región llevaron al desarrollo de nuevas necesidades de movilidad. Así, el aumento de la población y el uso de los medios de transporte generaron un problema de acción colectiva: el aumento del número de accidentes viales en países cada vez más motorizados. Según el informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2013 el número de fallecidos y lesionados en accidentes de tránsito fue de 1,24 millones y 50 millones de personas, respectivamente. El mismo estudio concluye que los accidentes de tránsito figuran como la octava causa mundial de muerte, y entre las tres primeras causas para personas de 5 a 44 años. El informe pronostica que “si no se toman medidas urgentes, los accidentes de tránsito se convertirán en 2030 en la quinta causa de muerte”<sup>1</sup>.

Los países desarrollados, como Francia, Suecia, España y Estados Unidos, fueron los primeros en adoptar medidas para reducir las tasas de accidentalidad en sus vías. Según un estudio del BID, España redujo “la cifra de fallecidos por accidente de tráfico entre los años 2001 y 2007 en aproximadamente 31%”<sup>2</sup>, llegando a una tasa de 8,6 fallecidos por 100.000 habitantes. Francia, a su vez, redujo en el mismo período su tasa de fallecidos en 43%.

En los países de América Latina y el Caribe se está comenzando a tener conciencia de este tema, por medio de la definición de los Planes Nacionales de Seguridad Vial por parte de los gobiernos. Sin embargo, se carece de una institución consolidada que trate esta problemática, un sistema efectivo de recolección de datos, auditorías constantes de

las vías, un sistema de atención urgente de víctimas, leyes que regulen los asientos para niños u obliguen a los vehículos producidos en la región a incorporar los accesorios completos de seguridad y, en definitiva, de una cultura que tome en cuenta la seguridad vial como una de las prioridades para un eficiente desarrollo de los sistemas de transporte.

En este contexto, los países miembros de las Naciones Unidas han trabajado en la elaboración de un plan denominado “Plan Mundial para el Decenio de Acción para la Seguridad Vial” (2011–2020), cuyo objetivo consiste en estabilizar, y después reducir, la tendencia al aumento de las muertes por accidentes de tránsito, con lo que se calcula que se salvarían 5 millones de vidas en esa década. Este Plan se elaboró para orientar a los países sobre las medidas necesarias para reducir la tasa de muertes y alcanzar así el objetivo del Decenio.

En marzo de 2010, durante su reunión anual de los Gobernadores en Cancún, el BID lanzó su Estrategia de Seguridad Vial y el Plan de Acción 2010–2015. A través de la División de Transporte (TSP), el Banco ha desarrollado actividades para promover, fortalecer, obtener, sistematizar y compartir el conocimiento en áreas clave del desarrollo de infraestructura y servicios de transporte en la región. Conforme a esto, TSP ha priorizado la Seguridad Vial como un área estratégica para influenciar el desarrollo de políticas públicas coadyuvando al cumplimiento de los objetivos de la Década de Acción 2011–2020.

Según un estudio de 2013 del BID, la tasa de víctimas mortales por cada 100.000 habitantes tuvo un ligero aumento entre 2009 y 2013, pasando de 16,2 a 17,2 fallecidos<sup>3</sup>. El 50% de las víctimas mortales se concentran en el ámbito urbano, donde

<sup>1</sup>OMS. Informe sobre la Situación Mundial de la Seguridad Vial. Ginebra, marzo de 2013. [www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2013](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2013)

<sup>2</sup>BID; AEC. Diagnóstico de Seguridad Vial en América Latina y el Caribe: 2005-2009. BID, Washington, 2013. La versión gratuita está disponible en español en la página del BID.

<sup>3</sup>BID. Avances de Seguridad Vial en América Latina y el Caribe 2010–2012. BID, Washington, 2013.

vive el 82% de la población del continente, siendo los usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) el grupo con mayor número de víctimas. Por otro lado, atendiendo al impacto en la economía de los países, un estudio hecho por el BID, *Cost of Road Injuries in Latin America 2013*, llegó a la conclusión de que el impacto de los accidentes viales en cuatro países latinoamericanos –Argentina, Colombia, México y Paraguay– se encuentra entre 1,5% y 3,9% del producto interno bruto de cada uno de los países, dependiendo de la metodología utilizada<sup>4</sup>.

### Iniciativas e intervenciones

Entre los principales objetivos que persigue el BID en materia de seguridad vial se destacan el fortalecimiento de la capacidad institucional de los gobiernos en los países de la región y de sus capacidades técnicas en materia de seguridad vial, así como el fomento de la transferencia de conocimiento y de buenas prácticas, incentivando alianzas estratégicas para compartir la experiencia y las ventajas comparativas de múltiples sectores. En este marco, una de las líneas de acción de la estrategia es el apoyo a la disseminación de mejores prácticas y el desarrollo de redes inter-institucionales. Así, el Centro de Formación de Actores Locales para América Latina (CIFAL) y el Instituto de las Naciones Unidas para la Formación y la Investigación (UNITAR), con el apoyo del BID, decidieron estructurar una red de universidades para la seguridad vial y lanzar un llamado a concurso solicitando casos de estudio sobre la temática.

La red global de CIFAL está compuesta por nueve centros regionales para el desarrollo de la capacidad local, que se acercan a los gobiernos locales, el sector público, el sector privado y la sociedad civil. Con sede en Curitiba desde 2003, el centro regional de América del Sur es responsable por el desarrollo de programas de formación y fomento

de la cooperación técnica que contribuyan a un desarrollo urbano sostenible y el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en América Latina. En materia específica de seguridad vial, CIFAL está desarrollando el Programa de Seguridad Vial para Iberoamérica, y propone, entre sus proyectos, la creación de una red de universidades para promover y profundizar el conocimiento en dicha materia.

### El primer concurso de casos de estudio en seguridad vial

En 2013, CIFAL Curitiba y UNITAR, con el apoyo del BID, realizaron el “Primer concurso de casos de estudio en Seguridad Vial para el ámbito universitario en Latinoamérica y el Caribe”, a fin de promover los procesos académicos de creación, mejora y profundización del conocimiento en seguridad vial. El concurso es el primer paso para la conformación de la Red Latinoamericana de Universidades para la Seguridad Vial.

La convocatoria de propuestas se hizo abierta a todos los investigadores, docentes y alumnos universitarios cuyo objeto de estudio se vincule a la temática de Seguridad Vial en los 26 países miembros del BID en América Latina y el Caribe. Los trabajos de investigación que se presentaron respondieron a uno o más de los cinco pilares propuestos por la OMS-ONU del Decenio para la Seguridad Vial, lanzados el 11 de mayo de 2011. La evaluación de los casos se realizó por un comité académico de la Red de Universidades para la Seguridad Vial, un representante de CIFAL Curitiba y representantes de la FIA, la Universidad Johns Hopkins y la Agencia Nacional de Seguridad Vial de Argentina. Los tres finalistas fueron invitados a presentar sus casos de estudios en la Primera Asamblea de la Red de Universidades para la Seguridad Vial, que se celebró el 18 y 19 de noviembre de 2013 en la ciudad de Buenos Aires.

<sup>4</sup>Bhalla, Kavi. *The Costs of Road Injuries in Latin America 2013*. BID, Washington, 2013.

## Los casos ganadores

En esta monografía se presentan los tres casos de estudio finalistas del primer concurso de casos de estudio. El primer estudio, Uso de recursos de Visualización 3D y Simulador de Manejo Virtual para Apoyo a los Estudios sobre Seguridad en Rutas, fue presentado por Ana Paula Camargo Larocca, de la Escola de Engenharia de São Carlos de la Universidade de São Paulo. El trabajo trata del uso de simuladores de conducción para la mejora de la seguridad vial. Tomando como experiencia el trabajo de los pilotos de aviones, el artículo muestra un posible avance para introducir simuladores en la conducción de vehículos. Esta iniciativa no solo plantea la posibilidad de introducir el simulador de manejo, sino que posibilita el estudio de reacciones y comportamientos, así como también la simulación de la infraestructura, conforme a los parámetros establecidos por la *Federal Highway Administration* de los Estados Unidos en conjunto con el *Strategic Highway Research Program* (SHRP), del *Transportation Research Program* (TRB), tomando en cuenta la prevención, mitigación de siniestros y estudios de reacción y cognición en la vía pública presentada en un entorno virtual.

El segundo estudio, Herramientas para el reconocimiento de los factores que causan los accidentes de tráfico: estudio de caso en Brasil, correspondió a Denise Martins Chagas, de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul. En este caso se propone una herramienta práctica para la recolección de datos a fin de tener en forma unificada los elementos precisos de los siniestros. La estandarización en la recopilación y procesamiento de datos estadísticos posibilita la elaboración de mapas de localización de recurrencia siniestral denominados comúnmente como “puntos críticos”, estudiando las causas, procesos y situaciones de siniestros con el objetivo de proponer estrategias para reducir la siniestralidad en dichos lugares. Los formularios fueron aplicados por BHTRANS, la agencia responsable de tránsito en la ciudad de Belo Horizonte, Brasil.

El tercer artículo, Modelos de localización para el mejoramiento de la atención prehospitalaria de accidentes de tránsito en Medellín, fue presentado por Juan Guillermo Villegas Ramírez, de la Universidad de Antioquia, Colombia. Los objetivos del trabajo fueron: encontrar la cantidad óptima de ambulancias que necesita el sistema de emergencias de la ciudad de Medellín por franja horaria para la maximización de la cobertura en la atención prehospitalaria de la población y determinar la ubicación de las bases desde donde se hará el despliegue de las ambulancias. La importancia de este trabajo radica en la utilidad para el sistema de salud en cuanto a la atención primaria rápida y efectiva en los casos de accidentes.

Esta Monografía es una iniciativa innovadora que atestigua el carácter multidisciplinario de las instituciones académicas, de su vocación y de la vinculación entre las mismas y la comunidad. Es sabido que la problemática de la siniestralidad vial afecta gravemente a todas las comunidades de América Latina y el Caribe por lo que se hace imprescindible promover la investigación y la generación de propuestas de soluciones a este flagelo. Nos proponemos fomentar la tarea de fortalecer el desarrollo, planificar y formar un conocimiento extenso en materia de seguridad vial. Creemos que este es el camino que se debe tomar frente a un desafío tan importante y tan exigente.



# Uso de recursos de Visualización 3D y Simulador de Manejo Virtual para Apoyo a los Estudios sobre Seguridad en Rutas

*Ana Paula Camargo Larocca<sup>5</sup>*

*Aurenice da Cruz Figueira<sup>6</sup>*

*Felipe Issa Kabbach Jr.<sup>7</sup>*

<sup>5</sup>Doctora y Master en Ingeniería de Transportes de Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Actualmente es profesora doctora en la misma institución. Práctica Doctoral, en 2003, en Univeristy of New Brunswick, Fredericton, Canadá.

<sup>6</sup>Master en Ingeniería de Transportes por la Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Actualmente es estudiante de Doctorado en Escola de Engenharia de São Carlos.

<sup>7</sup>Doctor y Master en Ingeniería de Transportes de Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Actualmente es profesor en la misma institución.

## 1. Contexto general en el país y descripción del problema.

Esta propuesta fue elaborada con miras a contribuir al desarrollo y modernización tecnológica de los estudios realizados en Brasil, relacionados con la seguridad en rutas y con el comportamiento del conductor.

El estado de arte de concepción del Proyecto Geométrico de Vías de Transporte Terrestre, en Brasil, posee hoy una carencia acerca de estudios e investigaciones sobre seguridad del usuario y su comportamiento en las rutas.

Hoy, esta carencia también requiere ser cubierta en el Departamento de Ingeniería de Transporte de la Escuela de Ingeniería de San Carlos, con estudios e investigaciones sobre el proyecto geométrico de vías y sus dispositivos de seguridad (barreras físicas, señalización horizontal y vertical) y sobre el comportamiento y reacción de los conductores (edad, sexo, visibilidad en días de sol, lluvia, con neblina, etc.) apoyados a través de la visualización 3D, en un simulador de manejo.

Un simulador de conducción proporciona la posibilidad de manejar, en un ambiente virtual, el proyecto geométrico de la vía y observar el ambiente en el cual está insertada la ruta; permite analizar fallas en la geometría, posicionamiento de placas de señalización, dispositivos de seguridad y el comportamiento del conductor.

En este proyecto los conductores serán invitados a recorrer, virtualmente, los diversos escenarios de una ruta, los cuales pueden ser creados y examinados en el simulador, para condiciones reales o propuestas. Así se garantiza un control absoluto sobre los parámetros de estudio y seguridad del conductor.

En las investigaciones sobre carreteras, la importancia de la visualización 3D, y de los simuladores de manejo reales que pueden ser de tipo estático, o dinámico, remite obligatoriamente a los estudios desarrollados por el *Federal Highway Administration* de los Estados Unidos, en conjunto

con el *Strategic Highway Research Program* (SHRP), del *Transportation Research Board* (TRB), basados siempre en la prevención, disminución de accidentes y estudios de cognición.

Más allá de los Estados Unidos, países como Francia, Alemania, Italia y China tienen entendido que la conducción de un vehículo es una tarea que generalmente es considerada como esencialmente visual (Kemeny & Panerai, 2006). Siendo así, hace casi 15 años, las tecnologías de visualización 3D y los simuladores de manejo son utilizados en esos países en investigaciones y valoraciones sobre el desarrollo de vehículos, entrenamiento de conductores (de trenes, aeronaves, vehículos militares y más recientemente de camiones y vehículos de paseo) y también en estudios de comportamiento de conductores en el tráfico.

En Brasil, ningún paso fue dado en la dirección de usar estas herramientas para estudio del comportamiento del tráfico, a pesar de ser un país con grandes distinciones regionales de su población, en comportamiento y cultura. Es importante resaltar, asimismo, el comportamiento distinto del conductor brasileño en relación al de los conductores norteamericanos respecto de la norma aquí adoptada (DNIT-Departamento de Infraestructura de Transportes), que está fuertemente basada en la norma norteamericana de *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, abreviación en inglés para Asociación Americana de Autopistas Estatales y de Oficiales de Transporte).

Un factor que viene al encuentro de este proyecto es la ordenanza 808/2012 de DENATRAN, que pasa a exigir el uso de simuladores de manejo en autoescuelas, ya este año. Estos simuladores no están basados en la realidad.

Sin embargo, el principal factor que favorece la propuesta de este proyecto es el lanzamiento de la llamada “Década de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020” presentada el 11 de mayo de 2011, por las Naciones Unidas.

Su creación surgió de las deliberaciones de la Asamblea General de las Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud, para exigir que los Estados miembros priorizaran la seguridad vial como una cuestión de salud pública y de desarrollo, y se tomaran las medidas efectivas para la reducción de los números crecientes de accidentes en todo el mundo (<http://www.roadssafetyfund.org/>).

El desarrollo de esta investigación surge en este momento en que las grandes naciones son llamadas para reflexionar y tomar acciones volcadas a la seguridad en el tránsito.

## 2. Objetivos del estudio

Íntimamente ligado a la cuestión de investigación y estudios acerca de la visualización 3D, y uso del simulador de manejo para aumento de la seguridad vial, varios son los objetivos y metas que forman parte de las intenciones de estudio de este proyecto:

- Proveer al país de un centro con tecnología moderna y multidisciplinaria, con simulador dinámico de conducción virtual, para estudios sobre la seguridad de las vías, especialmente en la Década de Acción para la Seguridad Vial 2011 - 2020.
- Estudiar el comportamiento del conductor brasileño frente a los dispositivos de seguridad y condiciones de las vías e interpretar posibles causas, hoy, del alto índice de muertes en el tránsito en Brasil.
- Estudiar el comportamiento regional de los conductores de Brasil, a pesar de la gran diversidad cultural existente (se trata de un país con dimensiones continentales).
- Promover la educación y concientización de los beneficios de tecnologías de visualización 3D, a prácticas aplicadas a la concepción del trazado geométrico y estudios de comportamiento de los conductores.

- Promover metodología de bajo costo para la disminución de accidentes. Es posible evaluar diversas configuraciones de los dispositivos de seguridad en los simuladores de conducción y solamente, después de analizar los resultados, iniciar la confección e implantación. Asimismo, es posible examinar nuevas rutas proyectadas antes de la ejecución propiamente dicha. Esto contribuye para la identificación de fallas de coordinación de alineamientos, que pueden inducir a los conductores al siniestro. Normalmente, estas fallas son identificadas cuando la ruta está abierta al tráfico y los siniestros pasan a ser registrados como puntos específicos de la misma.

## 3. Pilares de la Década de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020 directamente relacionados al estudio.

La Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó, entre los años 2011 y 2020, la Década de Acción para la Seguridad Vial, mediante la resolución 64/255 de marzo de 2010, con el propósito de: “estabilizar y posteriormente reducir el número de víctimas fatales en siniestros de tráfico en todo el mundo, intensificando acciones a nivel nacional, regional y mundial.”

Las acciones previstas para abordar la problemática de la seguridad vial, en esta década, se numeran en cinco pilares principales, que son: (i) la gestión de la seguridad vial; (ii) infraestructura más segura y movilidad; (iii) vehículos más seguros; (iv) usuarios más seguros y (v) atención a las víctimas.

El presente estudio está en línea con el Pilar 1 en virtud de posibilitar un análisis integrado de geometría de la vía, dispositivos de seguridad y comportamiento del conductor. Una vez que es posible al proyectista recorrer el proyecto concebido vía *-drive trough-* es posible corregir errores de coordinación, alineaciones y en consecuencia el trazado antes de la fase de ejecución de la carretera, lo que contribuye directamente a la aplicación de in-

fraestructuras más seguras (Pilar2). La simulación realista tiene también como ventaja diferencial el uso de modelo virtual de un vehículo real, introducido en el entorno 3D.

Este hecho permite a los fabricantes de vehículos, por ejemplo, valorar componentes de estabilidad vehicular y adaptarlos a las condiciones de infraestructura de carreteras y el comportamiento del conductor brasileño - en ambiente en que el conductor no es sometido a situaciones de riesgo real - y de esta forma posibilita la fabricación de vehículos más seguros (Pilar 3). A partir del momento que los primeros resultados de la investigación en el simulador de conducción fueron presentados en sociedad y la academia, será posible calificar al conductor brasileño respecto a la agresividad en el manejo y en cuánto este comportamiento contribuye para las estadísticas de muertes en Brasil.

Se cree que la sensibilidad del autoconocimiento del conductor proporciona, junto con las políticas punitivas más severas, la concienciación por la necesidad de manejo preventivo y seguro (Pilar 4). Por último, como las imágenes de la pista en 3D pueden ser proyectadas en un entorno virtual - la llamada cueva digital -, en una etapa de mediano plazo, será posible simular diversas situaciones de siniestros y capacitar al personal de apoyo en pista, para el servicio de la atención de las víctimas (Pilar 5).

#### 4. Público Objetivo.

Conductores de vehículos de paseo y camiones, investigadores, proyectistas de carreteras, concesionarias viales, DNIT, DER, DETRANs, DENATRAN.

#### 5. Metodología empleada en el estudio.

Diversas razones justifican el uso de simuladores de manejo en los estudios sobre tráfico: facilidad para hacer alteraciones en el proyecto geométrico y en la investigación de uso de dispositivos de seguridad y señalización -que aún no existen o

son caros para ser realizados solamente para una prueba o ser implantados y posteriormente retirados - siempre enfocados en el auxilio del estudio del comportamiento del usuario de la vía y su seguridad.

Otra razón bastante fuerte para usar simuladores de manejo se apoya en el hecho de que en estos simuladores las situaciones potencialmente peligrosas pueden ser investigadas sin riesgos de vida. Los conductores pueden verse confrontados repetidamente con eventos que pueden ocurrir en la realidad. Así, los comportamientos en diferentes circunstancias, incluyendo condiciones climáticas específicas, como neblina, lluvia, pueden ser estudiados.

En algunos países, los exámenes en vías pueden ser imposibles de realizar por causa de las leyes -evaluaciones en rutas y vías urbanas son autorizados solamente después de un primer examen de potenciales situaciones de peligro en un simulador. Por ejemplo, en muchos países, así como en Brasil, una investigación sobre la influencia del alcohol o drogas en el desempeño de conducción no se permite en las vías, pero puede ser realizado en el simulador

Finalmente, el simulador de conducción permite un excelente control experimental, que el ambiente real no ofrece (Bella, (2008); Benedetto et al. (2002); Klee *et al.* (1999); Godley *et al.* (2002); Santiago-Chaparro *et al.* (2011); Oliver (2012); Fischer & Eriksson (2012); Bhatti *et al.* (2012).

En líneas generales, un simulador de manejo consiste en un conductor sentado en un cockpit equipado con controles normales como: volante, embrague, pedales de aceleración y freno, que están interligados y permiten conducir, en tiempo real, un vehículo por una carretera que es proyectada frente al piloto. (Allen et al. 2011).

El escenario de la carretera, en el cual estará inmerso el conductor, es creado a partir de la recreación del terreno y del proyecto geométrico, insertando elementos deseables (placas, arboles, barreras de

concreto, defensas metálicas, etc.) y condiciones de tráfico y medio ambiente (Kearney&Grechkin 2011).

Adicionalmente, más allá del modelo físico del vehículo, es necesario crear un modelo virtual de dinámica vehicular que simule la aceleración, el frenado y las maniobras hechas por el conductor, para garantizar la fidelidad con la experiencia real de conducción (Schwartz 2011). Finalmente, las acciones del conductor y los parámetros dinámicos del vehículo virtual son continuamente calculados y registrados, a través de software específicos de simulación, para un análisis posterior.

En el estado de arte de los simuladores de manejo existen tres grados de desarrollo, en función del nivel de fidelidad con respecto a la realidad que se quiere lograr, y a las capacidades de inversión: simuladores de conducción básica, caracterizados por una cabina y monitores; nivel intermedio, equipadas con una cabina estática de un vehículo real y

una proyección de pantalla grande, y de alta fidelidad, formado por una cabina en una base dinámica que simula el movimiento del vehículo y las mejores herramientas de simulación del entorno.

Conscientes de la importancia de obtener un simulador de alta fidelidad, para el desarrollo de investigaciones más relevantes y de la necesidad de implantarlo en etapas, la presente propuesta tiene tres etapas de desarrollo, cada una de ellas asociada a un grado de fidelidad del simulador de la siguiente manera:

- Etapa de simulador de nivel básico: Su arquitectura comprenderá una cabina (volante, embrague, freno y pedales del acelerador) y monitores de proyección del entorno de la conducción. Esta fase habrá calibrado el modelo dinámico de un vehículo C3, obtenido a través de una alianza con PSA Peugeot Citroën. La figura 1 representa un simulador de este tipo.



**Figura 1: Simulador básico de proyecto.**

Fuente: Multicorpos Engenharia, em la foto Prof. Alvaro da Costa Neto – EESC/USP

- Etapa de simulador de fidelidad media: su arquitectura constará de tres proyectores, de igual número de ordenadores, dedicados exclusivamente al procesamiento de imágenes con el objetivo de ofrecer un mayor campo visual y una mejor resolución, lo que aumenta la fidelidad física del simulador. En la misma dirección, el cockpit será reemplazado por una cabina de un vehículo C3, obtenida mediante un acuerdo de colaboración con PSA. En esta etapa del proyecto, pueden hacerse los estudios más avanzados, en el análisis de la geometría y el comportamiento del conductor. La Figura 2 muestra un simulador semejante al proyectado por construir.
- Etapa de simulador de alta fidelidad: Comprende la arquitectura más compleja, con un sistema de proyección inmerso que utiliza una pantalla y los mismos recursos computacionales mencionados en la fase anterior; así como una plataforma dinámica de soporte del vehículo, para representar los grados de libertad experimentados en la conducción. Más allá de los modelos de vehículos de pasajeros obtenidos con PSA, existe la posibilidad de incorporar modelos de camiones, a través de una asociación con Scania, así como equipos para la vigilancia de parámetros fisiológicos del conductor. Por otra parte, adicional al programa de creación de escenarios y de los modelos dinámicos de los vehículos, se tendrá el modelo de *MotionCueing* para acrecentar la fidelidad del simulador (Greenberg & Bloomer, 2011). La Figura 3 muestra el simulador dinámico que será el equipamiento principal del proyecto, aún en fase de captación de recursos.



Figura 2. Simulador estático.

Fuente: DriveSafety <http://www.drivesafety.com/>



Figura 3. Simulador dinámico (Vi-GRADE-FERRARI).

Fuente: Vi-GRADE <http://www.vi-grade.com>

A pesar de las diferencias marcadas en las tres etapas del proyecto, hay cuestiones metodológicas que deben ser respetadas y seguidas, en las tres fases, para garantizar la obtención de resultados representativos del comportamiento del conductor y de la evaluación de los resultados de la geometría de calle. A continuación se enumeran las fases de desarrollo del proyecto:

1. Definición del tipo de estudio: el primer paso de cualquier estudio en el simulador de manejo debe establecer el objetivo de la investigación, ya que éste va a cambiar el tipo de vehículo utilizado, los escenarios que deben ser configurados, establecer los parámetros para ser recogidos y la población de objeto de estudio. Ejemplos de estudios son: evaluación de la coherencia en el diseño geométrico, la influencia de las barreras de contención, en la distancia de visibilidad, la distracción del conductor por el uso del teléfono celular, la influencia del alcohol en la conducción, entre otros.
2. Desarrollo y calibración del modelo dinámico del vehículo: una vez definido el tipo de estudio se deberá simular la dirección, la transmisión, la aceleración, rotación y la velocidad del vehículo seleccionado, preferentemente simulando, además, las condiciones físicas en las etapas más avanzadas del proyecto. Como menciona Schwarz (2011), el modelo desarrollado debe ser validado siguiendo las pruebas de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), las cuales comprenden principalmente las pruebas longitudinales (aceleración y frenado) y lateral (dirección y la aceleración lateral). La aceptación del modelo desarrollado se basa en la validación visual y el análisis estadístico (histogramas, pruebas de hipótesis y de series de tiempo) de los resultados obtenidos de los exámenes y del comportamiento real del vehículo.
3. Creación de escenarios: el tipo de estudio también definirá el tipo de escenarios a ser creados, siendo posible la creación de un entorno único o la creación de un escenario actual u otras

propuestas. Según Kearney y Grechkin (2011) y Figueira (2012), la creación de escenarios debe incluir: el modelo digital del terreno; el diseño geométrico (alineación horizontal, vertical y sección transversal); elementos de señalización y control de tráfico; así como representaciones de las condiciones de flujo vehicular y de medio ambiente. En los estudios de casos, basados en situaciones reales, la creación de los escenarios comienza con la recolección de información que permite caracterizar las variables mencionadas anteriormente, para posteriormente ser digitalizadas, llevadas a modelos 3D y finalmente recreadas. Es decir, establecer colores, brillos y texturas de los elementos. Por último, un elemento importante en la creación de escenarios - que se tendrá en cuenta en este proyecto- es la capacidad de activar en tiempo real nuevos eventos y elementos en el escenario, siguiendo las decisiones tomadas por el conductor en el simulador.

4. Desarrollo del modelo de Motion Cueing: sólo se desarrollará durante las etapas finales del proyecto, incluyendo la comunicación y retroalimentación entre los modelos de vehículos y de escenarios, con sistemas de proyección y movimiento percibidos por el usuario en el simulador. El modelo de Motion Cueing es un factor clave en la fidelidad del simulador a la hora de transmitir al usuario los movimientos, fuerzas, sonido y las imágenes, con sus correspondientes maniobras. (Jamson, 2011).
5. Validación del Estudio: todo estudio realizado en un simulador de manejo debe ser validado hasta garantizar que el estudio se puede generalizar, conforme las condiciones del objeto real de estudio. Según Mullen et al. (2011) la validación del estudio en el simulador debe comparar los resultados de las pruebas piloto hechos en condiciones reales y en el simulador, usando herramientas estadísticas, como el análisis de las variaciones, correlación y estadística descriptiva, e incluso la inspección visual. Un modelo de simulación de manejo es encontrado válido si

consigue inducir al conductor los mismos comportamientos que se siente en el contexto real. La validación de los estudios se hará en todas las etapas de desarrollo del proyecto.

6. Diseño del examen, selección de los grupos de estudio y aplicación de las pruebas: después de validar el modelo se procederá con la selección del grupo de estudio (muestra), de acuerdo con el público objetivo del estudio, los requisitos de tamaño de la muestra y los procedimientos para la selección aleatoria. Antes de iniciar el estudio, deben ser informadas las reglas, condiciones y estímulos de la prueba, con el fin de tratar de obtener los resultados deseados y en la búsqueda de la mayor fidelidad psicológica de la simulación, siempre respetando el consentimiento libre en la participación del examen (Figueira 2012; Ranney 2011; Dawson 2011). A lo largo de las pruebas se harán cuestionarios y mediciones sobre el rendimiento del conductor (parámetros fisiológicos), del vehículo (velocidad, aceleración, etc.), y del entorno físico (tráfico, lluvia, etc.).
7. Análisis estadístico: una vez obtenidos los resultados de las pruebas, serán realizados análisis estadísticos, según las necesidades del estudio, siendo empleadas, en general, las siguientes herramientas: estadística descriptiva, análisis de correlato y covariación, análisis de variables, prueba de hipótesis Qui Cuadrado, modelos de regresión lineal y técnicas de análisis Cluster, entre otros (Figueira, 2012; Boyle, 2011).

## 6. Resultados y evaluación del trabajo

Tal y como se mencionó anteriormente, el proyecto actualmente se encuentra en la consolidación de su primera etapa (simulador de conducción de nivel básico). Se desarrollaron hasta hoy en día dos investigaciones enfocadas al desarrollo del simulador. En un primer estudio, en Figueira (2012), se emplearon herramientas de visualización 3D para la evaluación de las inconsistencias en el diseño geométrico de una vía asociada, principalmente,

con tres fenómenos: la pérdida de la distancia de visibilidad; la secuencia de curvas cóncavas y convexas, que crean inmersiones visuales, y deterioro visual en la dirección la ruta, por falta de alineación horizontal y vertical. Para comenzar, fueron creados tres escenarios diferentes y de cada uno de estos escenarios fueron creados dos escenarios: uno con una traza correcta y otro con algunos de los problemas anteriormente mencionados. El total de seis escenarios fue evaluado por un grupo de aproximadamente 80 personas, con conocimientos técnicos de diseño geométrico, obteniendo como principal resultado del estudio la conclusión de que la herramienta de visualización usada, efectivamente, permite identificar y evaluar los errores en el diseño geométrico, destacando la importancia que tendría en este tipo de estudios el desarrollo de simuladores más avanzados. La Figura 4 representa una vista de la simulación, realizada en este estudio, para un tramo con inconsistencias en el diseño geométrico.



Figura 4: Visualización de un tramo con inconsistencias del diseño geométrico – falla de coordinación de alineamientos, que someten al conductor a riesgos.

Fuente: Figueira (2012) p.76

Por otra parte, Matos (2012) desarrolló un segundo estudio, orientado al uso de herramientas de visualización 3D en la evaluación de la ruta. El foco particular de esa investigación fue el efecto que tiene la distancia de separación de la barrera central, en la distancia de visibilidad, en curvas horizontales para vías dobles. Con ese objetivo, fueron desarrollados varios escenarios de simulación de distancia de separación de la barrera, en función de la altura de la barrera, la velocidad de funcionamiento de la vía, de la geometría de la curva (radio y el ángulo central) y del alineamiento vertical.

Los resultados de las simulaciones arrojaron la creación de ábacos sobre la distancia de separación adecuada, de la función de barrera central, en función de los parámetros mencionados anteriormente. Adicionalmente, los ábacos creados, con base a las simulaciones, fueron probados satisfactoriamente en un estudio de caso en un tramo de vía, en la región metropolitana de Recife, Brasil. La Figura 5 presenta uno de los ábacos generados por las simulaciones.

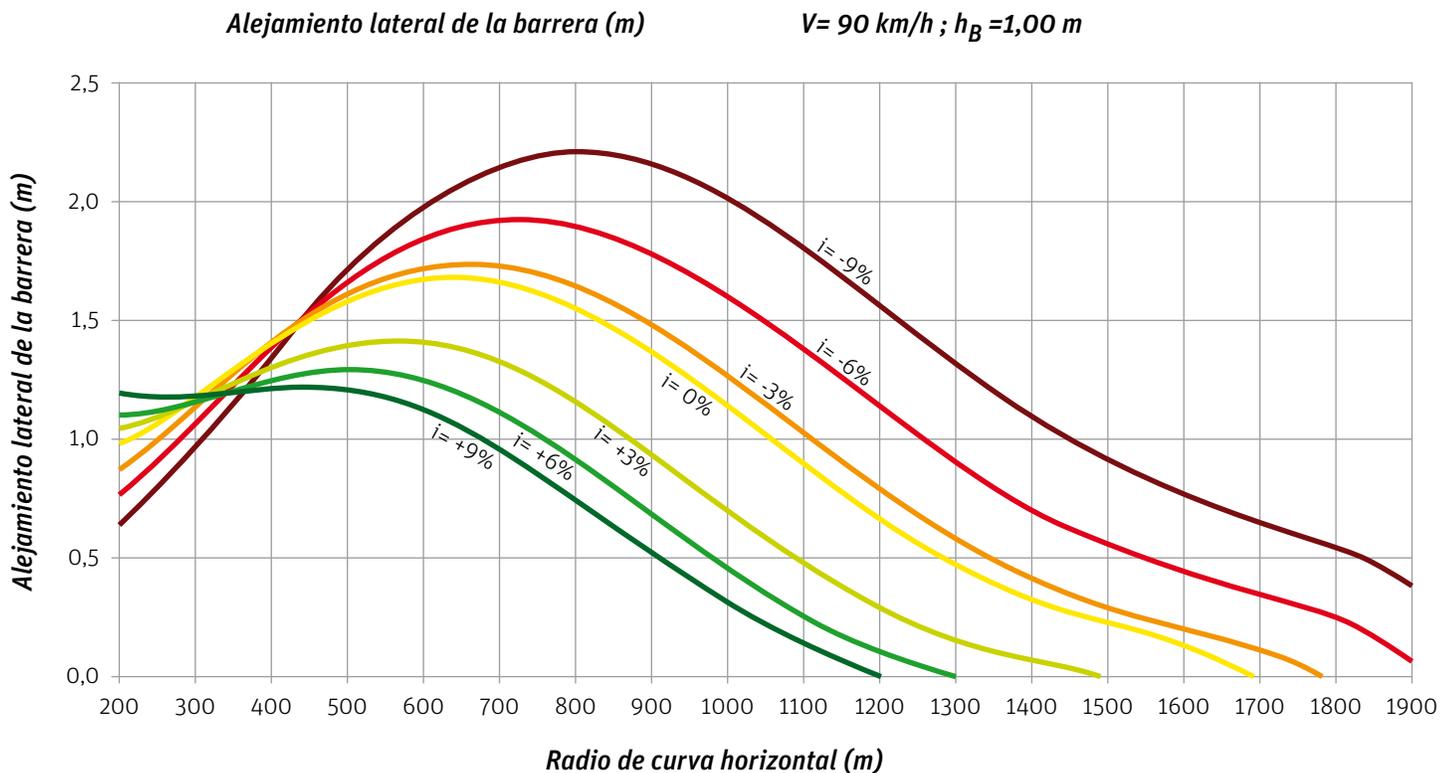


Figura 5: Ábaco de separación adecuada de la barrera central – auxilio al proyectista de la ruta.

Fuente: Matos (2012) p.80

Es importante destacar que, aunque el proyecto actualmente se encuentra en una etapa inicial (Lucas et Rabay. Al, 2013), ya se han desarrollado varios estudios alrededor del mismo, con resultados satisfactorios, que dan importancia a emplear este tipo de tecnología en los estudios de seguridad vial, más allá de alcanzar varias asociaciones (Agencia Nacional de Transportes Terrestres - proyectos de Recursos para el Desarrollo Tecnológico): PSA Peugeot Citroën, Scania y el Departamento de tránsito de São Paulo – DETRAN, para futuras investigaciones conforme el proyecto siga avanzando.

En este sentido, se plantea que en las próximas etapas del proyecto seguirán siendo desarrollados estudios focalizados en proyecciones geométricas de la vía, además de adicionar estudios de comportamiento del conductor, el rendimiento del vehículo y el análisis de tráfico, entre otros, haciendo de este simulador dinámico de manejo el primer laboratorio de investigación multidisciplinaria de América Latina, orientado a la seguridad vial, basado en herramientas de simulación y de visualización en 3D.

## 7. Informaciones adicionales/ Comentarios.

Proyecto de investigación en desarrollo por la profesora Ana Paula Camargo Larocca, en el Departamento de Ingeniería de Transporte de la Escuela de Ingeniería de São Carlos – cuenta con la participación del profesor Felipe IssaKabbach Jr. (Departamento de Ingeniería de Transporte de la Escuela Politécnica de la USP), del profesor Alvaro da Costa Neto (Departamento de Ingeniería de Materiales de la Escuela de Ingeniería de São Carlos) y de los investigadores asociados Aurenice Figueira da Cruz, MiguelAndrés Castillo y Ana Martins Luiz Torres.

## 8. Referencias Bibliográficas.

- Allen, R.W. et al. (2011). *A Short History of Driving Simulator. Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA.
- Bella, F. (2005). *Verification of the Coordination of Horizontal Alignment and Profile at The Driving Simulator*. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, EUA, June 29-July 1, 2005.
- Benedetto, C., De Blasiis, M., and Benedetto, A. (2002) *A Driving Simulator Based Integrated Approach for Road Geometry Validation: An Assessment of the Road Safety Standards*. Applications of Advanced Technologies in Transportation (2002): pp. 696-703.
- Boyle, L. N. (2011). *Analytical Tools. Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA.
- Callisperis, O. J. T. *CAD para Rodovias: O Impacto das Modelagens Digitais do Terreno e do Projeto*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, 2003.
- CNT (2009). *Boletim Estatístico CNT – 2009*. Confederação Nacional do Transporte. Pesquisa Rodoviária 2006; 155p.
- Cox, R. (2005). *Visualization – Why It Should Now Be a Basic Tool for Geometric Road Design*. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, EUA, June 29-July 1, 2005.
- Dawson, J. D. (2011). *Statistical Concepts. Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA.
- Dong, Y. (2006). *A Visualization Experience of the Northern Illinois Planning Commission*. University of Delaware. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 October, Denver, Colorado, EUA.
- Doug Eberhard, D., Gilson, K., Brinckerhoff, P. (2006). *Advanced 3D/4D Modeling and Real-time Visualization in Transportation*. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 October, Denver, Colorado, EUA.
- FENABRAVE (2009). Semestral de Veículos Automotores no Brasil. [http://www.tela.com.br/dados\\_mercado/Anual%20e%20Semestral/semestral2009.pdf](http://www.tela.com.br/dados_mercado/Anual%20e%20Semestral/semestral2009.pdf)
- Figueira, A. da C. (2012). *O Uso de Ferramentas de Visualização Tridimensional na Detecção de Deficiências em Projetos Geométricos de Vias*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, 2012.
- Fischer, M.; Eriksson, L. (2012). Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), (Sweden) *Evaluation of methods for measuring speed perception in a driving simulator*. Driving Simulation Conference 2012 – Europe. Paris, França.
- Freitas, G. C. (2009). *Método de Avaliação da Compatibilidade de Tráfego de Caminhões com a Geometria das Vias Urbanas*. Relatório de Iniciação Científica. Engenharia de Transportes, EESC/USP.
- Greenberg, J. & Bloomer, M. (2011). Physical Fidelity of Driving Simulators. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA.
- Han, K.; Middleton, D.; Muzyczka, W.J.; Minty, S.; Clayton, A. (2005). *Developing Virtual Reality Visualizations to Support Highway Geometric Design*. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, EUA, June 29-July 1, 2005.
- Hughes, R. G.; Ph.D. Schroeder, B. (2006). 3D Visualization and Micro-Simulation Applied to the Identification and Evaluation of Geometric and Operational ‘Solutions’ for Improving Visually Impaired Pedestrian Access to Roundabouts and Channelized Turn Lanes. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 October, Denver, Colorado, EUA.
- Jamson, H. (2011). *Cross-platform Validation*

- Issues. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA.
- Kearney, J.K&Grechkin, T.F. (2011). Scenario Authoring. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA.
- Kuhn, W. (2006). Using Visualization for the Design Process of Rural Roads. University of Leipzig, Germany. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 October, Denver, Colorado, EUA.
- Lucas, F. R., Russo, L. E. A., Kawashima, R. S., Figueira, A. da .C., Larocca, A.P.C., Kabbach Jr. F. I. (2013). *Uso de simuladores de direção aplicado ao projeto de segurança viária*. Boletim de Ciências Geodésicas; v. 19, n. 2 (2013).
- Manore, M. A. *Visualization in Transportation* (2007). Transportation Research News. 252 September-October. 2007.
- Matos, E. S. (2012). *Estudo da Influência do Posicionamento de Barreiras Rígidas Centrais na Visibilidade de Projeto em Rodovias de Pista Dupla*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP, 2012.
- Mullen, N. et al. (2011). Simulator Validity: Behaviors Observed on the Simulator and on the Road. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA.
- Oliver, J. (2012). Driving simulation applications in immersive environments. Driving Simulation Conference 2012 – Europe. Paris, França.
- Pack, M. (2006). *A Four-D, Real-Time, Transportation Visualization System*. Center for Advanced Transportation Technology, University of Maryland-College Park. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 October, Denver, Colorado, EUA.
- Pack, M. L., Weisberg, L., Sujal, S. (2005). *Four-Dimensional Interactive Visualization System for Transportation Management and Traveler Information*. Journal of the Transportation Research Board. Volume 1937, 2005.
- Pereira Neto, W.A. (2007). *Análise de fatores intervenientes nas características dimensionais de segmentos rodoviários sob a ótica da compatibilidade veículo-via*. 190p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Ranney, T. A. (2011). Psychological Fidelity: Perception of Risk. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA.
- Road Safety Fund. *UN Decade of Action for Road Safety 2011-2020*. <http://www.roadsafetyfund.org/UnDecadeOfAction/Pages/default.aspx>
- Santiago-Chaparro, K. ; Deamico, M. ; Bill, A. ; CHITTURI, M. ; Noyce, D. (2011). *Virtual Road Safety Audits Using Driving Simulators: A Framework*. 3rd International Conference on Road Safety and Simulation. Indianápolis, Indiana, EUA.
- Schwarz, C.W. (2011). Validating Vehicle Models. *Handbook of Driving Simulation For Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EUA.
- Suzuki, C.; Alves, C.; Kabbach Junior, F. I. (2004). *Métodos para a avaliação da consistência de traçado de rodovias com duas faixas de tráfego*. Revista DER - 70 anos. Engenharia 2004.
- Taylor, M. (2006). *Visualization in Design/Build and Design/Bid/Build Project Environments*. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 October, Denver, Colorado, EUA.
- Williams, B. (2006). *Visualization and Practices for Corridor Planning*. Federal Highway Administration. Center for Advanced Transportation Technology, University of Maryland-College Park. 5th International Visualization in Transportation Symposium and Workshop. 23-26 October, Denver, Colorado, EUA.



# Herramientas para el reconocimiento de los factores que causan los accidentes de tráfico: estudio de caso en Brasil

*Denise Martins Chagas<sup>8</sup>*

## 1. Introducción: Contexto general en el país y la descripción del problema.

La seguridad vial requiere un enfoque sistemático para mejorarla, sobre todo en los sectores de ingresos bajos y medios. La falta de capacidad local para crear soluciones y la baja posibilidad de supervisar y evaluar los proyectos de datos siguen siendo un desafío. Queda mucho por hacer para fortalecer las actividades de recopilación de datos, análisis y toma de decisiones sobre la seguridad vial (Naciones Unidas, 2011).

La rápida urbanización y la motorización provocada por ella en los países en desarrollo han contribuido a aumentar los incidentes viales, sin que ello implique la generación de una ingeniería adecuada y concientización pública sobre el problema. A ello, se suma la falta de educación vial, de prevención de riesgos y de control, a través de políticas gubernamentales. Teniendo en cuenta la magnitud del problema, el rendimiento del sector ha sido incipiente e ineficaz. Actualmente, la mayoría de las respuestas a los problemas de seguridad vial ha consistido en brindar mayor atención al cambio de comportamiento, en lugar de construir un entorno vial seguro para el tráfico de vehículos y personas (Souza et al., 2007).

Ciudades brasileñas, en su mayoría, han sufrido dificultades en materia de administración pública, principalmente por la falta de planificación. El Código de Tránsito Brasileño (Brasil, 2008) establece que es responsabilidad de las agencias ejecutivas y las autoridades de tránsito “recoger datos estadísticos y realizar estudios sobre los accidentes de tránsito y sus causas”. En consecuencia, se supondría que los bancos de datos, debidamente estructurados, pueden ser útiles para las organizaciones, ya sean privados o del gobierno, y que tengan como objetivo abordar el problema de los incidentes viales con eficiencia, eficacia y responsablemente, sobre la base de la información confiable (Mantovani y Ray Jr., 2006).

La municipalización de la movilidad vial, establecida por el Código de Tránsito Brasileño (CTB), estipula que los municipios asumen la gestión total de dicha movilidad, con la obligación de realizar, entre otras tareas, la encuesta, análisis estadístico y control de los incidentes.

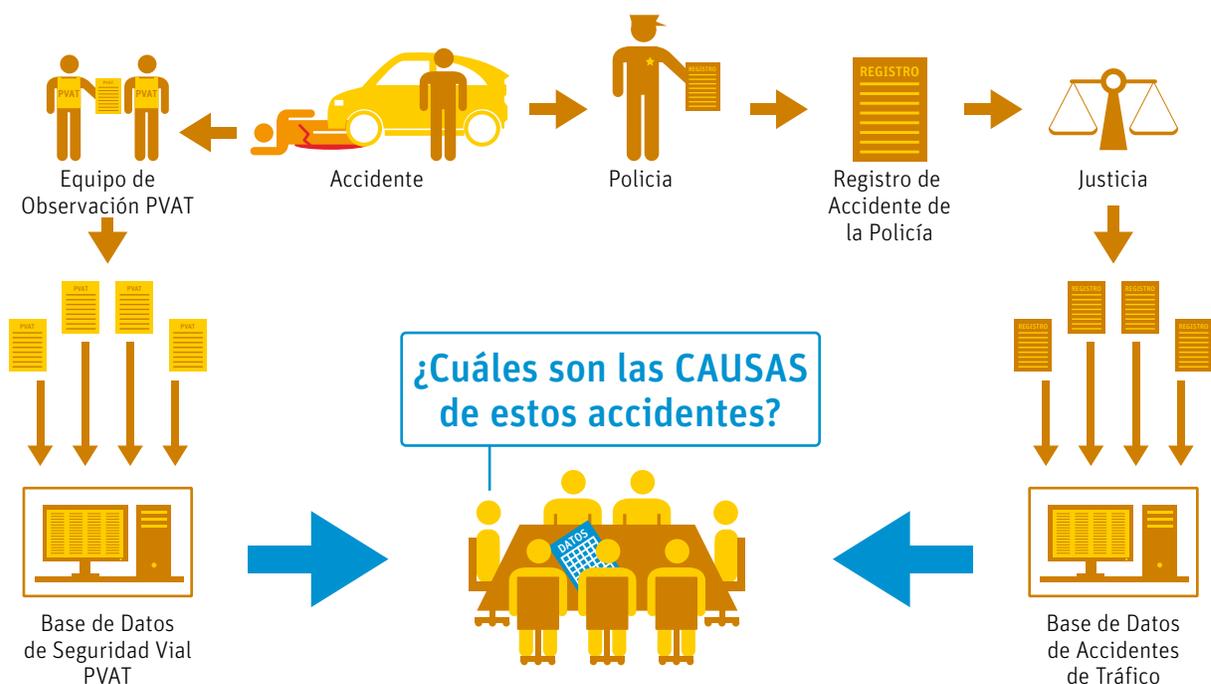
Sin embargo, en Brasil, poco se valora la recolección, tabulación, procesamiento, análisis y uso de los datos (MJ / DENATRAN, 2000). El país se encuentra todavía en una fase de transición y muchas municipalidades aún no están integradas en el Sistema Nacional de Tránsito.

Son varias las razones que provocan esta falta de datos de accidentes de tránsito en Brasil. Entre ellos, podemos citar: la falta de técnicas y herramientas de recopilación de datos establecidos y validados. Ésta sería una de las varias tareas de los municipios asociadas a la gestión del tráfico y la formación de personal especializado en cada municipio. El dominio de estas herramientas es esencial para el acceso a datos de interés.

Las estadísticas de los accidentes de tráfico utilizadas para la gestión de la seguridad vial, en su mayoría, tienen como origen los informes oficiales de la policía (BO). Estos registros tienen un enfoque legal, es decir, tratan de identificar a los responsables del accidente. Por lo tanto, los datos disponibles no cuentan con información para ayudar a la identificación de las fallas del sistema de movilidad de las personas y/o vehículos, por carretera o calles urbanas, y permitir la mejora de la seguridad vial.

## 2. Objetivos del estudio.

Brasil está entre los países con el mayor número de incidentes viales en el mundo. En 2010, Brasil se unió al “Proyecto Seguridad Vial en 10 Países” (Proyecto RS10), una iniciativa de la “Road Safety Collaboration” de las Naciones Unidas, compuesto por socios como EMBARQ, GRSP, ASIRT de la Universidad Johns Hopkins, el Banco Mundial y la OMS, financiado por *Bloomberg Philanthropies*. Cinco ca-



**Imagen 1: Relación entre las actividades, herramientas de estudio y origen de los datos disponibles**

(Fuente: Elaborado por el autor).

pitales de estado fueron elegidas para recibir apoyo técnico y recursos para implementar las mejores prácticas en seguridad vial.

Belo Horizonte es una de las ciudades participantes en el RS10 proyecto, llamado en Brasil “Proyecto Vida en el tránsito”. La gestión de la movilidad vial en el estado está en manos de la Empresa de Transporte y Tránsito de Belo Horizonte (BHTRANS), la cual, además de las actividades propuestas por el Proyecto *Life on the Road*, en el 2010 inició el “Proyecto de Encuesta de Accidentes de Tráfico” (IVAP). Este proyecto tiene como objetivo recoger información de los incidentes con peatones y ciclistas para: (i) reconocer las principales causas de estos incidentes y (ii) realizar acciones eficientes de reducción de estos incidentes.

El interés por reconocer las causas de los incidentes viales nos brindó la oportunidad de desarrollar un formulario de recopilación, a través de las actividades manuales que este estudio de caso describe. El formulario y el manual se desarrollaron en el contexto de la investigación de doctorado en LASTRAN / UFRGS y su aplicación en Belo Horizonte se realizó con el apoyo de EMBARQ Brasil.

Este estudio de caso se refiere a la labor realizada por la LASTRAN / UFRGS y EMBARQ Brasil, por el IVAP de BHTRANS, con el objetivo de: (i) presentar el trabajo realizado para desarrollar una herramienta de recolección de datos de incidentes viales, la cual nos permita reconocer los factores causales y (ii) demostrar la importancia de las asociaciones para las actividades de desarrollo y capacitación relacionadas con la seguridad vial.

Este conjunto de herramientas, que consta de un formulario, manual y actividades de evaluación de la formación, fue creado para reconocer las causas de los incidentes viales a través de la observación del sitio, los vehículos, las entrevistas a testigos y cualquier otro factor que contribuyera a aclarar las causas del incidente. Esto permitiría entender mejor cómo estos hechos podrían evitarse y establecer la mejor forma de prevención. Ésta fue la primera encuesta de posicionamiento de la imagen de los incidentes y kit de herramientas desarrolladas por LASTRAN / UFRGS y EMBARQ Brasil, en relación con los datos de accidentes de tránsito disponibles.

Se propone un estudio de accidentes para registrar la información volátil, presente en la escena del incidente, porque, después de retirar los vehículos involucrados, hay pocas probabilidades de recuperarlos. Este trabajo no realiza las mediciones o recoge material para el examen. Se basa en la observación y entrevistas. Así, el trabajo propuesto accede y procesa la información, y las causas de los accidentes, de forma rápida, sin interferir en el rescate de las víctimas. Trabajan en el momento de la liberación de la vialidad o el retiro de vehículos.

Para lograr el objetivo de reducir los incidentes y las muertes de tránsito, las áreas de gestión de transporte municipal necesitan herramientas y técnicas para ayudar en esta difícil tarea. Recoger datos de accidentes se ha convertido en una demanda necesaria. Sin embargo, el acceso a esta información no siempre es satisfactorio, tanto por el tiempo de procesamiento de la información como por la ausencia de la misma, y por lo tanto no permite ayudar en la comprensión de las causas de los accidentes de tránsito. Ante ello, se justifica el esfuerzo para desarrollar herramientas y técnicas de recolección de información, adaptada a Brasil, y para proporcionar información adicional que ayuden a reducir los accidentes y las muertes de tráfico.

### 3. Aplicación práctica.

Las propuestas de este conjunto de herramientas intentan ser un enfoque innovador. Parten del registro de información que exige la formación de un equipo que supervisa la llamada de urgencia y el lugar del incidente. Los resultados proporcionan una muestra de datos que le permiten mejorar el trabajo de recolección en los formularios y planificar acciones futuras.

Las encuestas se llevaron a cabo en parejas, para garantizar la agilidad en el proceso de recolección de datos. La escena de los incidentes con víctimas mortales se disuelve rápidamente, por eso el momento de la recopilación de información en el formulario dura unos 15 minutos. Para que las encuestas puedan cubrir todos los incidentes tendrán que

distribuir varios equipos en lugares estratégicos y permitir el acceso al lugar del hecho, en el momento oportuno. En la preparación de los equipos de estudio es de vital importancia que la información registrada sea imparcial.

### 4. Pilares de la Década de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020 directamente relacionados con el estudio.

La Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó, entre los años 2011 y 2020, el Decenio de Acción para la Seguridad Vial, a partir de la resolución 64 /255 de marzo de 2010, con el fin de: “estabilizar y posteriormente reducir el número de víctimas mortales en accidentes de tráfico, en todo el mundo, la intensificación de las acciones a nivel nacional, regional y mundial”.

Las actuaciones previstas para abordar el tema de la seguridad vial, en esta década, se numeran en cinco pilares principales, que son: ( i ) la gestión de la seguridad vial; ( ii ) movilidad más segura e infraestructura; ( iii ) vehículos más seguros, ( iv ) usuarios más seguros y ( v ) ayuda a las víctimas.

El presente estudio está en línea con el Pilar 1 para generar herramientas registrales que permitan presentar información con un enfoque en la seguridad vial. Estas herramientas dan la oportunidad de recoger los datos con mayor profundidad, así como el reconocimiento de las circunstancias y las causas de los incidentes. Los datos de los hechos son esenciales para la planificación, así como para supervisar y evaluar los esfuerzos de prevención. Este estudio también demuestra la importancia de establecer asociaciones que favorezcan un trabajo con mayor potencial, para detener el incremento de los accidentes de tránsito.

### 5. Audiencia.

En Brasil, los datos del Ministerio de Salud (2013) indican un aumento del 44 % en el número de muertes de tráfico entre 2001 y 2011, con 44.553

muerdes en 2011. El 49.7 % de estas muertes son usuarios vulnerables de la carretera: peatones, ciclistas y motociclistas. Vale la pena señalar que no siempre los registros del Ministerio de Salud reconocen la causa de muerte como producto de los accidentes de tráfico, ya que dependerá de la disponibilidad de las víctimas históricas. Por lo tanto, las cifras pueden ser aún mayores.

En la ciudad de Belo Horizonte, de acuerdo con datos del Ministerio de Salud, el 75 % de las muertes por accidentes de tránsito en 2011 correspondió a los usuarios vulnerables. En 2011, un total de 228 peatones, ciclistas y motociclistas perdieron la vida en el tráfico, con un promedio de 19 muertes por cada mes.

## 6. Metodología empleada en el estudio.

El estudio de caso describe los pasos dados en el desarrollo de una herramienta para el registro de los accidentes viales encuestados por el IVAP BHTRANS. El IVAP exigió varias acciones, tales como la ejecución de un acuerdo con el Servicio Móvil Médica (SAMU); la definición de los equipos necesarios para el trabajo; así como los criterios para la satisfacción de las encuestas, la formación del personal encuestador y el desarrollo de la recolección de datos.

El conjunto de herramientas desarrollado por LAS-TRAN/UFRGS y EMBARQ Brasil ha permitido: ( i ) el desarrollo de un formulario de recolección de datos, adaptado a Brasil, basado en las mejores prácticas internacionales; ( ii ) la evolución del formulario, a través de la investigación piloto, adecuada a los problemas y necesidades del país; ( iii ) la realización de encuesta sobre la formación del personal, con el objetivo de lograr mayor calidad en la recolección de datos; ( iv ) un taller, incluyendo otras áreas de la orden BHTRANS, que integra al personal para difundir, evaluar y mejorar las herramientas desarrolladas y ( v ) la formación de una base de datos que permita el análisis de los accidentes y la evaluación de su trabajo.

Inicialmente los formularios desarrollados y utilizados, en forma experimental por BHTRANS, fueron analizados. Al principio, el estudio de las causas de los accidentes se llevaría a cabo con la ayuda de una lista de factores realizado por UFRGS (Chagas, 2011; Heridas Nodari y Lindau, 2012), además de los datos recogidos por BHTRANS. Nos decidimos a desarrollar un nuevo formulario, con un formato adecuado, para construir una base de datos.

Para desarrollar esta guía, que consta de un formulario, el manual, la capacitación y las herramientas de evaluación, son necesarias las siguientes acciones:

- 1) Revisión de la literatura y de los registros de la encuesta de los accidentes de tráfico, a nivel nacional e internacional. Busca contenido de la recolección por formularios, las definiciones, los objetivos de la recopilación de datos, así como la forma de aplicación y tabulación de datos. La validación de la lista de los factores que contribuyen a los incidentes desarrollados para la investigación en Brasil.
- 2) Definición de la información que se registra y el formato de cada campo. Siempre que sea posible se optó por preguntas con respuestas cerradas. Para cada formulario de pregunta figuran las respuestas posibles “ FVTA Llenado Manual”.
- 3) Organización de las preguntas del formulario, con el fin de disponer de la información en la mejor utilización del espacio del papel, en formato A4.
- 4) Elaboración de un manual que contiene las definiciones de las respuestas del formulario, con el objetivo de estandarizar la recolección de datos y minimizar el margen para la interpretación de las respuestas. Este material también se utiliza como procedimiento de capacitación y orientación de material para la recolección de datos.
- 5) Revisión a fondo del material elaborado, realizado en los talleres.
- 6) Aplicación práctica en las versiones de prueba, para mejorar el formulario y el manual.
- 7) Encuesta sobre la formación del equipo.

8) Acompañando el trabajo de la encuesta, los procedimientos de observación y recolección de datos en el lugar del accidente, el cuidado de llenar el formulario e introducir los datos en la base de datos.

El formulario y el manual fueron desarrollados con base a las mejores prácticas internacionales (DFT, 2011; OMS, 2012; Cerezo et al, 2006; NHTSA, 2012; TDT, 2008). Esto le permite registrar información sobre: el lugar del accidente, las características y las circunstancias; vehículos, características y consecuencias de maniobras, involucrados, la participación en el evento, las características y la gravedad.

Para reconocer las causas de los accidentes, se utilizó la lista de factores que contribuyen a los accidentes de tráfico validados por LASTRAN / UFRGS. La forma (Fig. 2) tiene 5 páginas, que son:

- Parte 1: Ubicación de Accidentes (imagen 5).
- Parte 2: Vehículos (imagen 6).
- Parte 3: Los grupos de interés (foto 7).
- Parte 4: Factores Influyentes (foto 8).
- Parte 5: Diagrama y descripción (foto 9).

Imágenes del formulario completo están disponibles al final del documento.

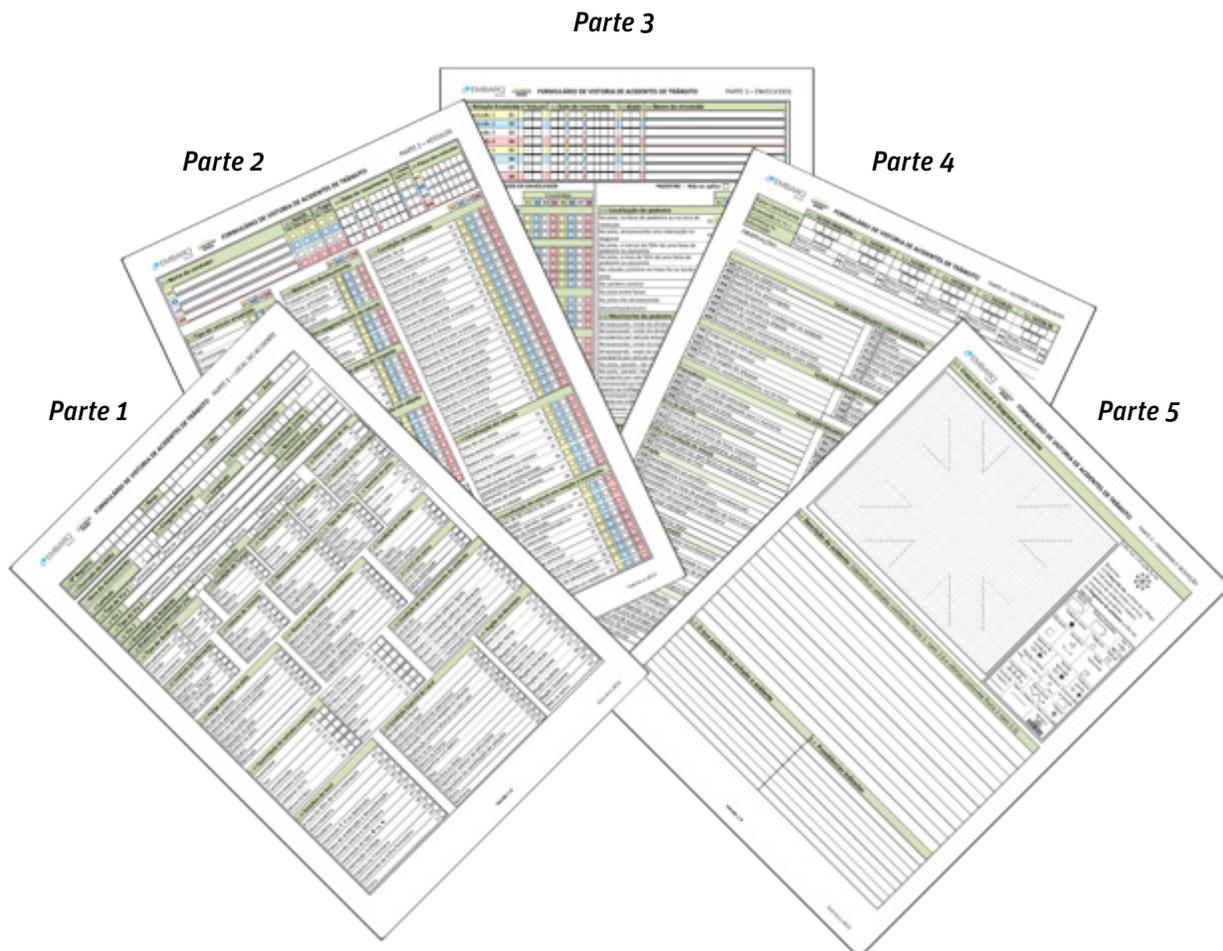


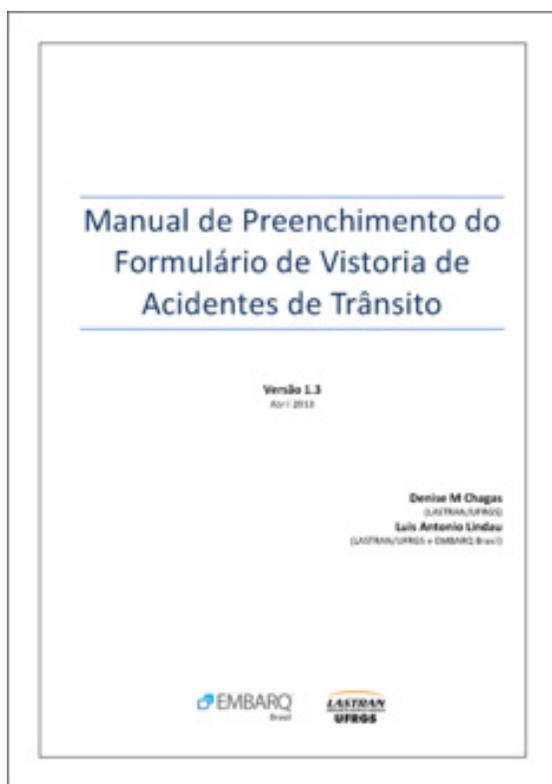
Imagen 2: Visión general de los formularios.

Fuente: elaboración del autor.

Este formulario está compuesto principalmente de preguntas cerradas y el tiempo para llenarlo se ajusta al establecido. La formación y el conocimiento del material encuestado, por parte del personal, mostraron que la información puede ser recogida con éxito y está alineado con el manual “Datos de sistema” de la Organización Mundial de la Salud (2012).

La forma se complementa con un manual que describe el propósito de cada campo, sus respuestas, y proporciona ejemplos cuando se considera necesario. El “Manual para Completar el Formulario de Encuesta de Accidentes de Tráfico “ (foto 3) jugó un papel decisivo en las etapas de formación y desarrollo del formulario. Permitió a cada elemento la revisión en cuanto al propósito y la definición.

Las actividades de capacitación (foto 4) y la evaluación del proceso de recopilación de datos son fundamentales en la consolidación de herramientas, sumado a la encuesta, en el intento por establecer la base apropiada para el reconocimiento de las causas de los incidentes viales.



**1.39 Recursos disponíveis para pedestres**

Marcar a opção que melhor represente a disponibilidade de recursos para a travessia de pedestre no local do acidente de acordo com as definições.  
Marcar somente uma opção.

1.39 Recursos disponíveis para pedestres	
Nenhum em 50 metros	01 <input type="checkbox"/>
Faixa não semaforizada	02 <input type="checkbox"/>
Faixa semaforizada	03 <input type="checkbox"/>
Travessia em faixa de retenção	04 <input type="checkbox"/>
Faixa elevada	05 <input type="checkbox"/>
Passarela	06 <input type="checkbox"/>
Passagem subterrânea	07 <input type="checkbox"/>
Canteiro central ou ilha	08 <input type="checkbox"/>

Opção	Definição
<b>Nenhum em 50 metros</b>	Não há nenhum recurso para travessia de pedestres a menos que 50 metros de distância do local do acidente.
<b>Faixa não semaforizada</b>	Há faixa de pedestres, mas não há semáforo.
<b>Faixa semaforizada</b>	Há faixa de pedestres e semáforo.
<b>Travessia em faixa de retenção</b>	Quando há faixa de retenção e o pedestre faz a travessia na faixa de retenção.
<b>Faixa elevada</b>	No local do acidente há faixa de pedestres sobre lombada, platô, na largura da faixa de pedestres e ao nível da calçada.

Imagen 3: Formulario de llenado manual.

Fuente: elaboración propia.

## 7. Resultados y evaluación del trabajo.

La “Encuesta Formulario de Accidentes de Tráfico” (FVAT) es una herramienta innovadora para la región. En general, los registros de accidentes de tránsito en Brasil utilizan campos descriptivos y no tienen la estandarización de los datos recogidos. Las características de las formas de registros de accidentes no permiten que la información se tabule directamente y entre en una base de datos. El FVAT ha delimitado lo anterior con preguntas cerradas, que cubren las necesidades de los registros de accidentes. Esta herramienta fue desarrollada con la experiencia de expertos, que conocen en profundidad las diferentes características de la red de carreteras.

El desarrollo de FVAT permitió que el Proyecto de Inspección de Accidentes de Tránsito BHTRANS realizara la recolección de datos, a nivel de las mejores prácticas internacionales, que identifican los factores causales. La información recopilada forma inmediatamente una base de datos de accidentes la cual permite el análisis de los hechos y los factores que contribuyeron a su ocurrencia. Los incidentes reportados con mayor detalle también ayuda a los antecedentes del trabajo, realizado por el Proyecto RS 10.

Durante el proceso de desarrollo del formulario, la versión electrónica del manual para la recopilación de datos se puso a prueba. El formulario, en un primer término, fue desarrollado en formato PDF, lo que demuestra la capacidad de adaptarse a diferentes equipos de recolección de datos. Con



Imagen 4: Las actividades de formación.

Fuente: autor.

posterioridad, el uso de la tecnología permitió que el registro o el envío de información sean procesados directamente a la base central de datos. El manual está disponible para imprimir en archivo A5, o electrónico, a PDF.

El Proyecto de la Encuesta de Accidentes de Tránsito BHTRANS ha realizado más de 600 encuestas; 362 de ellas fueron hechas con la forma desarrollada por LASTRAN/UFRGS. El IVAP de BHTRANS continúa realizando las inspecciones y la gestión del proyecto parte de la información de la institución.

El enfoque actual de la investigación LASTRAN / UFRGS, en colaboración con BHTRANS, se relaciona con el análisis y la mejora de la formación de los equipos de inspección. Establece las herramientas de recopilación, metodología de la encuesta de accidentes, las cuales serán cruciales para desarrollar informes de seguimiento de los accidentes; así como en la elaboración de las medidas de mitigación. Este paso está en desarrollo y tiene como objetivo ofrecer un paquete completo de herramientas que reconozcan las causas de los accidentes y los patrones de monitoreo de accidentes de tránsito.

La colaboración entre las instituciones fue esencial para desarrollar el “Formulario de Encuesta de Accidentes de Tráfico” (FVAT), el “Manual de llenado del Formulario de Encuesta de Accidentes de Tránsito” y el establecimiento de procedimientos para la inspección de los accidentes y el análisis de los datos recogidos.

Una institución de investigación, tal como la UFRGS a través del Laboratorio de Sistemas de Transporte (LASTRAN), y una empresa de gestión como los BHTRANS transporte, difícilmente tendrán el mismo éxito si no trabajan en cooperación. El eslabón clave en este sentido es el trabajo realizado por EMBARQ Brasil, la cual opera de manera eficiente proporcionando asistencia técnica y el acceso a las mejores prácticas en seguridad vial.

Las sociedades de gestión de transporte municipal, en Brasil, realizan numerosas funciones donde la

seguridad vial se encuentra insertada en varias de estas actividades. Esta característica transversal ocasiona que a menudo no reciba la atención que requiere.

En general hay un grupo específico de personas, dentro de las áreas, para hacer frente sólo a cuestiones de seguridad. En el Proyecto de la Encuesta de Accidentes de Tránsito BHTRANS, esta no es la única función realizada por el equipo involucrado en el proyecto. En este sentido, la creación de una asociación con una institución de investigación, tal como la UFRGS, fue un aporte que ayudó al éxito del trabajo.

El trabajo sobre la forma de la encuesta, las actividades de capacitación, reuniones y taller contó con el apoyo de EMBARQ Brasil. Se desarrollaron equipos y procedimientos para aplicación en territorio brasileño y no en específico para el registro de los accidentes que involucran a los usuarios vulnerables de la vía o el medio ambiente urbano. Fueron diseñados para su aplicación en los accidentes de tráfico sin restricciones.

El formulario también se utilizó en un estudio piloto en la ciudad de Río de Janeiro: la Compañía de Ingeniería de Tráfico de Río de Janeiro (IST -Rio). La necesidad de la recopilación de datos y la falta de herramientas desarrolladas específicamente para el reconocimiento de las causas de los accidentes han abierto nuevas posibilidades para la aplicación y prueba del material.

Los trabajos preparatorios de este estudio piloto, que consistió en reuniones y formación del equipo, ayudaron en la evolución del formulario y del manual. Esta segunda aplicación de la investigación piloto demuestra la potencial aplicación de encuestas en diferentes ciudades.

El estudio muestra la construcción de un instrumento para la recopilación de datos de accidentes de tráfico, con un enfoque en la seguridad vial. El formulario, el manual y los procedimientos establecidos para la inspección de los incidentes fueron creados con la capacidad de reconocer las causas

de los accidentes y recopilar información sobre las circunstancias en que se produjeron estos hechos.

Estas herramientas deben ser utilizadas, en todo el país, para proporcionar la oportunidad de reconocer las particularidades de cada localidad; así como la comparación entre estas localidades.

En virtud que las bases de datos de accidentes en Brasil, donde existen, no poseen las mismas características, se crea la oportunidad de comparar la información.

Agradecimientos: El autor agradece CNPq, por el apoyo financiero para la investigación; la LAS-TRAN, EMBARQ Brasil , BHTRANS y CET –Rio, por su apoyo y compromiso que permitió este trabajo.

## Formulario de encuesta de accidentes de tránsito.



FORMULÁRIO DE VISTORIA DE ACIDENTES DE TRÂNSITO PARTE 1 – LOCAL DO ACIDENTE

1.1 Nº Registro		1.2 Resp.		1.3 Dia		1.4 Mês		1.5 Ano	
1.6 Chamado do SAMU									
1.7 Hora do Acionamento			1.8 Chegada ao Local			1.9 Término do Atendimento			
1.10 Latitude					1.11 Longitude				
1.12 Tipo de Via 1					1.13 Velocidade Limite 1				
1.14 Via 1					1.15 Numeral				
1.16 Tipo de Via 2					1.17 Velocidade Limite 2				
1.18 Via 2									
1.19 Gravidade do Acidente					1.26 Pistas e faixas da via				
1.20 Distância da Interseção (m)					1.27 Inclinação da Via (Greide)				
1.22 Tipo de Acidente					1.28 Controle da Interseção				
1.23 Condição do Tempo					1.29 Volume de Veículos				
1.24 Superfície da Via					1.30 Movimento de Pedestres				
1.25 Pavimento					1.31 Tipo de Pavim.				
1.32 Sentido da pista					1.33 Perigo presente na pista				
1.34 Recursos disponíveis para pedestres					1.35 Condição da Calçada				
1.36 Local em curva					1.37 Quantidade de veículos envolvidos				
1.38 Condição de luz no momento do acidente					1.39 Detalhes do local				
1.40 Condição Especial do Local					1.41 Região do Município				

2.1 Nome do condutor		2.2 Habilit.		2.3 Fuga		2.4 Data de nascimento		2.5 Idade (anos)		2.6 Placa dos veículos	
		Sim	Não	Sim	Não					V1	V2
C1											
C2											
C3											
C4											

2.7 Tipo do veículo envolvido		V1	V2	V3	V4
Automóvel	01				
Taxi	02				
Caminhonete	03				
Camioneta (Van)	04				
Utilitário (SUV)	05				
Micro-ônibus	06				
Ônibus urbano	07				
Ônibus Interurbano	08				
Ônibus Articulado	09				
Caminhão	10				
Moto	11				
Bicicleta	12				
Outro	13				

2.8 N°m. de Ocupantes		V1	V2	V3	V4
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
09					
10					
11					
12					
13					

2.9 Choque com objeto na via		V1	V2	V3	V4
Não houve	01				
Acidente anterior	02				
Obra na via	03				
Veículo parado em local não apropriado	04				
Viaduto/pórtico (teto)	05				
Viaduto/pórtico (lateral)	06				
Barreira/Guadi/Defensa	07				
Porta de veículo aberta	08				
Canteiro ou rotatória	09				
Meio fio	10				
Caçamba de entulho	11				
Outro	12				
Animal	13				

2.10 Motivo do deslocamento		V1	V2	V3	V4
Trabalho em transp.	01				
Transp. p/trabalho	02				
Transp. p/escola	03				
Outro ou desconhecido	04				

2.11 Derrapagem/desvio do veículo		V1	V2	V3	V4
Não houve	01				
Derrapou	02				
Derrapou e capotou/tombou	03				
Capotou/tombou	04				

2.12 Primeiro ponto de impacto		V1	V2	V3	V4
Não houve	01				
Frente	02				
Traseira	03				
Lado esquerdo	04				
Lado direito	05				

2.13 Primeiro impacto em objeto fora da pista		V1	V2	V3	V4
Não houve	01				
Sinalização vertical ou semáforo	02				
Poste	03				
Árvore	04				
Parada de ônibus	05				
Barreira	06				
Vala	07				
Construção ou muro	08				
Outro	09				

2.14 Direção de deslocam.		V1	V2	V3	V4
DE	PARA				
V1					
V2					
V3					
V4					

2.15 Primeiro contato entre veículos		V1	V2	V3	V4
V1					
V2					
V3					
V4					

2.16 Veículo saiu da pista de circulação normal		V1	V2	V3	V4
Não saiu da pista	01				
Saiu da pista para o lado direito	02				
Saiu da pista para o lado direito e voltou	03				
Saiu da pista passando direto pela interseção	04				
Saiu da pista para a esquerda, ficou na área ou canteiro central	05				
Saiu da pista para a esquerda, área ou canteiro central, e voltou	06				
Saiu da pista para a esquerda, e cruzou para o outro lado	07				
Saiu da pista para o lado esquerdo	08				
Saiu da pista para o lado esquerdo e voltou	09				

2.17 Condição de circulação		V1	V2	V3	V4
Andando de ré	01				
Estacionando	02				
Parado ou estacionado	03				
Entrando na via	04				
Esperando p/seguir em frente	05				
Desacelerando ou parando	06				
Arrancando (partindo)	07				
Fazendo retorno em U	08				
Conversão à esquerda	09				
Esperando para virar à esquerda	10				
Conversão à direita	11				
Esperando para virar à direita	12				
Mudando de faixa para a esquerda	13				
Mudando de faixa para a direita	14				
Passando por veículo parado	15				
Ultrapassando pela esquerda	16				
Ultrapassando pela direita	17				
Fazendo curva à esquerda	18				
Fazendo curva à direita	19				
Em frente, sem curva	20				
Trafegando entre faixas	21				
Andando na contramão	22				

2.18 Localização do veículo		V1	V2	V3	V4
faixa de uso misto	01				
faixa exclusiva para ônibus	02				
Sobre trilhos	03				
Ciclovia ou ciclofaixa	04				
Área de pedestres ou ciclistas	05				
Parado junto ao meio fio, acostamento ou estacionado	06				
Deixando o meio fio, acostamento ou área de estacionamento	07				
Sobre a calçada	08				

2.19 Localização do veículo em relação à interseção		V1	V2	V3	V4
A mais de 20 metros de uma interseção	01				
Chegando, parado, estacionado na entrada da interseção	02				
Saindo, parado, estacionado na saída da interseção	03				
Saindo da rotatória	04				
Entrando na rotatória	05				
Saindo da via principal	06				
Entrando na via principal	07				
Entrando por faixa de aceleração	08				
Saindo por faixa de desaceleração	09				
No meio da interseção ou rotatória	10				

Imagen 6: Vehículos.

3.1 Relação Envolvido e Veículo	3.2 Data de nascimento	3.3 Idade	3.4 Nome do envolvido
Envolvido 1 E1	V		
Envolvido 2 E2	V		
Envolvido 3 E3	V		
Envolvido 4 E4	V		
Envolvido 5 E5	V		
Envolvido 6 E6	V		
Envolvido 7 E7	V		
Envolvido 8 E8	V		

3.5 Sexo do envolvido		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Feminino	01								
Masculino	02								
Desconhecido	03								

3.6 Gravidade		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Leve	01								
Grave	02								
Fatal	03								
Iluso	04								
Desconhecido	05								

3.7 Classe do envolvido		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Condutor	01								
Passageiro	02								
Pedestre	03								
Trabalhador na Via	04								

3.8 Passageiro Auto/Taxi/Veículos de carga		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Banco dianteiro	01								
Banco traseiro	02								
Bagageiro ou Carga	03								
Não se aplica	04								

3.9 Passageiro Ônibus/Micro		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Embarcando	01								
Desembarcando	02								
Em pé	03								
Sentado	04								
Superlotação	05								
Não se aplica	06								

3.10 Uso de Alcool ou Drogas		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Teste realizado	A								
Resultado positivo	B								
Sintomas/índice	C								

Preencher para o item 3.10 com as seguintes opções:  
1 = Não 2 = Sim 3 = Desconhecido

3.11 Equipamento de Segurança		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Capacete	A								
Cinto de segurança	B								
Cadeira infantil	C								
Desconhecido	D								
Não se aplica	E								

Preencher para o item 3.11, nas opções A, B ou C com as seguintes opções:  
1 = Equipamento usado de forma adequada  
2 = Equipamento usado de forma inadequada  
3 = Equipamento ausente ou não utilizado

3.12 Localização do pedestre		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Na pista, na faixa de pedestre ou na zona de retenção	01								
Na pista, atravessando uma interseção na diagonal	02								
Na pista, a menos de 50m de uma faixa de pedestre ou passarela	03								
Na pista, a mais de 50m de uma faixa de pedestre ou passarela	04								
Na calçada, próximo ao meio fio ou bordo da pista	05								
No canteiro central	06								
Na pista entre faixas	07								
Na pista não atravessando	08								
Desconhecido/outro	09								

3.13 Movimento do pedestre		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Atravessando, vindo da direita do condutor	01								
Atravessando, vindo da direita do condutor, encoberto por veículo estacionado ou parado	02								
Atravessando, vindo da esquerda do condutor	03								
Atravessando, vindo da esquerda do condutor, encoberto por veículo estacionado ou parado	04								
Na pista, parado, não atravessando	05								
Na pista, parado, não atravessando e encoberto por veículo estacionado ou parado	06								
Caminhando ao longo da via, em sentido oposto ao tráfego	07								
Caminhando ao longo da via, no mesmo sentido do tráfego	08								
Trabalhando na via	09								
Desconhecido/outro	10								

3.14 Motivo de deslocamento do pedestre		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Trabalho	01								
Estudo	02								
Compras	03								
Tratamento de Saúde	04								
Outros ou desconhecido	05								

3.15 Direção de deslocamento do pedestre		Envolvidos							
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
De (origem)	01								
Para (destino)	02								

**Pedestre parado (00)**  
**Direção desconhecida (99)**  
**Exemplo: N para S**

	E1
De (origem)	N
Para (destino)	S

	4.1 FATOR PRINCIPAL	4.2 FATOR 02	4.3 FATOR 03	4.4 FATOR 04	4.5 FATOR 05	4.6 FATOR 06
Fator Contribuinte	<input type="checkbox"/>					
Envolvido (11, 12...)	<input type="checkbox"/>					
Confiança na informação	Muito Provável					
	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível	Possível

OBSERVAÇÕES:

FATOR CONTRIBUINTE VIÁRIO-AMBIENTAL	
401	Animal ou objeto na via
402	Acidente anterior
403	Superfície lisa, escorregadia
404	Desvio temporário
405	Sinalização horizontal inadequada ou apagada
406	Superfície molhada ou alagada
407	Redutor de velocidade
408	Acostamento (sem acostamento ou em desnível)
409	Sinalização vertical oculta (vegetação, outro objeto)
410	Chuva
411	Nevoeiro
412	Iluminação pública insuficiente
413	Obras (na pista ou fora da pista)
414	Semáforo (defeito, faltando)
415	Areia, barro, sujeira, cascalho, lama
416	Óleo
417	Layout da via desfavorável/incompatível
FATOR CONTRIBUINTE VEICULAR	
501	Carga (solta ou em excesso)
502	Passageiros em excesso
503	Falha mecânica
504	Falha no engate do reboque
505	Luzes (farol, sinalização traseira, luz de freio)
506	Pneu
507	Ausência de espelhos
508	Visibilidade nas janelas
509	Bicicleta sem refletores ou luz
FATOR CONTRIBUINTE HUMANO	
Imprudência	
601	Exceder o limite de velocidade
602	Exceder velocidade adequada para o momento
603	Muito veloz para a curva
604	Distância entre veículos incompatível
Erro de decisão	
611	Falha ao dar preferência
612	Curva imprópria (troca de faixa, trajetória)
613	Falha ao parar (sinal, pedestre, preferencial)
Falha na condução do veículo	
620	Violação com luz: sem faróis ou não baixou farol
621	Uso impróprio do freio
Infração	
630	Desobediência ao semáforo
631	Desobediência à sinalização (pare e preferencial)
632	Desobediência à faixa de pedestres
633	Desobediência ao direito de passagem de outro veículo
634	Passagem ou ultrapassagem ou imprópria
635	Parar em local impróprio
636	Contramão
637	Conversão ou retorno ilegal
Erro de desempenho ou reação	
640	Falha ao sinalizar ou sinalizar incorretamente
641	Falha ao olhar corretamente
642	Falha ao julgar a trajetória, velocidade ou espaço
643	Desvio brusco, movimento excessivo de direção
644	Perda do controle do veículo
645	Saída da pista
646	Falha ao manter o veículo na própria faixa
Debilidade ou distração	
650	Desatenção (atenção inadequada)
651	Aparentemente cansado/fadigado/dormindo
652	Aparentemente doente (incapaz de dirigir, física/mental, mal súbito)
653	Prejudicado pela ingestão de álcool
654	Prejudicado pelo uso de drogas (ilícitas ou medicamentos)
655	Distração por uso de equipamento de comunicação
656	Distração dentro do veículo
657	Distração fora do veículo
Comportamento ou inexperiência	
661	Dirigir com agressividade
662	Inexperiência do condutor
Visão prejudicada	
671	Vegetação
672	Desenho da via (inclinação, curva)
673	Prédios, sinalização de trânsito ou mobiliário urbano
674	Visão prejudicada por reflexo (farol, sol)
675	Visão prejudicada de dentro para fora do veículo
676	Não usar faróis à noite ou quando necessário
677	Visão prejudicada por veículo circulando normalmente
678	Visão prejudicada por veículo parado/estacionado regularmente
679	Visão prejudicada por veículo parado/estacionado de forma inadequada
Ação/condição relacionado ao pedestre	
680	Falha ao respeitar semáforo, sinalização, agente ou direito de passagem
681	Ação relacionada a veículo parado ou estacionado
682	Local impróprio de travessia
683	Uso incorreto dos recursos de travessia para pedestres
684	Falha ao julgar a velocidade ou trajetória do veículo
685	Ação perigosa na via (parado, deitado, trabalhando, brincando)
686	Prejudicado pelo consumo de álcool
687	Prejudicado pelo consumo de drogas (ilícitas e medicam.)
688	Descuidado, desatento, negligente ou com pressa
689	Caminhando ao longo da via
Moto/bicicleta	
690	Andando entre veículos
691	Contramão
692	Sobre o passeio
CASOS ESPECIAIS	
701	"Pingu" ou "Racha"
702	Veículo roubado ou usado para cometer crime
703	Veículo de emergência atendendo a um chamado
704	Veículo privado em emergência
705	Veículo policial em atendimento
706	Outros: .....

Imagen 8: Factores Contribuyentes.

Fuente: EMBARQ Brasil e LASTRAN - UFRGS



## 8. Referencias Bibliográficas.

- Ministério da Saúde do Brasil (2013). DATASUS. Disponible en: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=02>>. Acesso em: 7 ago. 2013.
- Brasil (2008). Código de Trânsito Brasileiro: instituído pela Lei no 9.503, de 23-9-97. Brasília: DENATRAN, p. 710.
- Chagas, D. M (2011). *Estudo sobre fatores contribuintes de acidentes de trânsito urbano*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Chagas, D. M.; Nodari, C. T.; Lindau, L. A. (2012). *Lista de fatores contribuintes de acidentes de trânsito para pesquisa no Brasil*. In: XXVI ANPET - Congresso Nacional de Ensino e Pesquisa em Transporte.
- Cherry, E.; Floyd, R.; Graves, T.; Martin, S.; Ward, D. (2006). *Crash Data Collection and Analysis System: Report 537*. Phoenix.
- Department of Transport (2011). *STATS 20 - Instructions for the Completion of Road Accident Reports from non-CRASH Sources*. DfT.
- Mantovani, V. R.; Raia JR., A. A. (2006). Gestão em Segurança de Tráfego Urbano Utilizando o Método SIGSET. *Revista dos Transportes Públicos*, n. 110, p. 29–40, 2006.
- Ministério da Justiça; DENATRAN (2000). *Municipalização do trânsito: roteiro para implantação*. DENATRAN ed. Brasília, p.48.
- NHTSA(2012). *ModelMinimumUniform Crash Criteria*. MMUCC Guideline. 4o. ed., p.148.
- Organização Mundial da Saúde (2012). *Sistema de Dados. Um Manual de Segurança Viária para Gestores e Profissionais da Área*. Brasília. D.F.: OPAS.
- Souza, E. R. DE; Minayo, M. C. DE S.; Franco, L. G (2007). *Avaliação do processo de implantação e implementação do Programa de Redução da Morbimortalidade por Acidentes de Trânsito*. *Epidemiologia e Serviços*, v. 16, n. 1, p.19–31.
- Texas Department of Transportation (TDT) (2010). *Instructions to Police for Reporting Crashes*. Austin, Texas, p.111.
- United Nations (2011). *Improving Road Safety. Note by the Secretary General. Sixty-sixth session, Agenda item 12, Global road safety crisis*. Disponible en: <<http://www.who.int/roadsafety/about/resolutions/download/en/>>.
- World Health Organization (WHO) (2010). *Data systems: a road safety manual for decision-makers and practitioners*.



# Modelos de localización para el mejoramiento de la atención pre hospitalaria de accidentes de tránsito, en Medellín, Colombia

*Juan G. Villegas R.<sup>9</sup>*

*Carolina Castañeda P.<sup>10</sup>*

*Katherine A. Blandón<sup>11</sup>*

<sup>9</sup>Profesor asociado del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad de Antioquia (Colombia). Ingeniero de Producción de la Universidad EAFIT (Colombia). M.Sc. en Matemáticas Aplicadas de la Universidad EAFIT y M.Sc. en Ingeniería Industrial de la Universidad de los Andes (Colombia). Ph.D. en Ingeniería y en Optimización de Sistemas de la Universidad de los Andes y de la Université de Technologie de Troyes (France).

<sup>10</sup>Ingeniera Industrial de la Universidad de Antioquia y estudiante de Maestría en Ingeniería de la misma universidad.

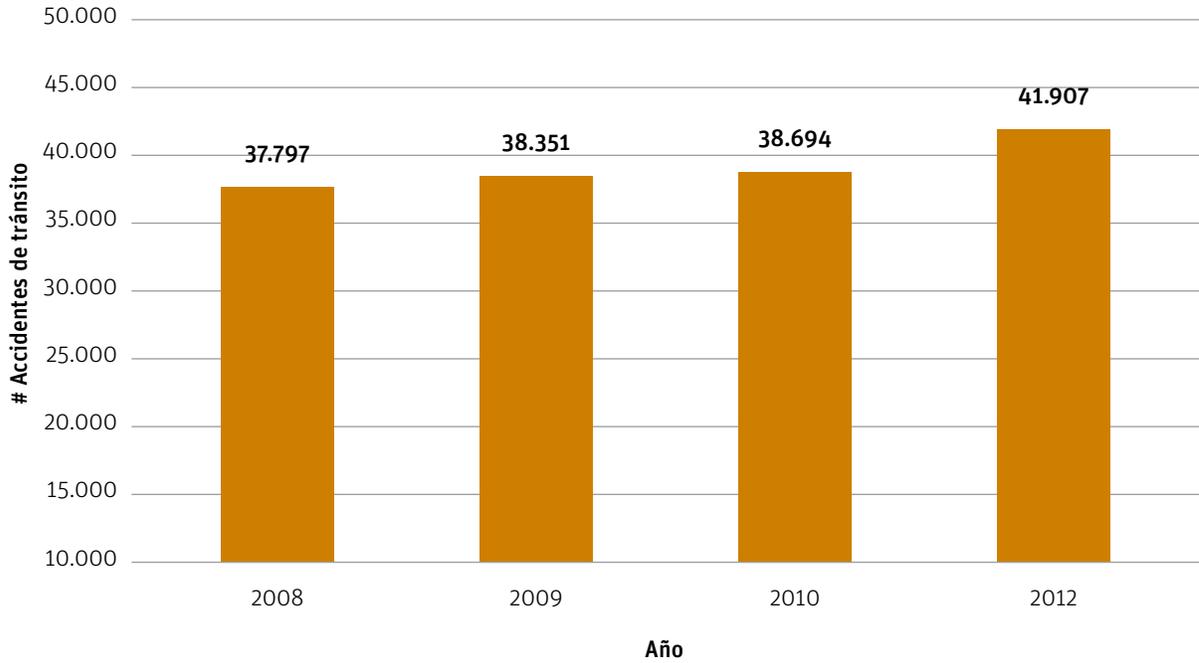
<sup>11</sup>Ingeniera Industrial de la Universidad de Antioquia.

## 1. Introducción, contexto general en el país y descripción del problema.

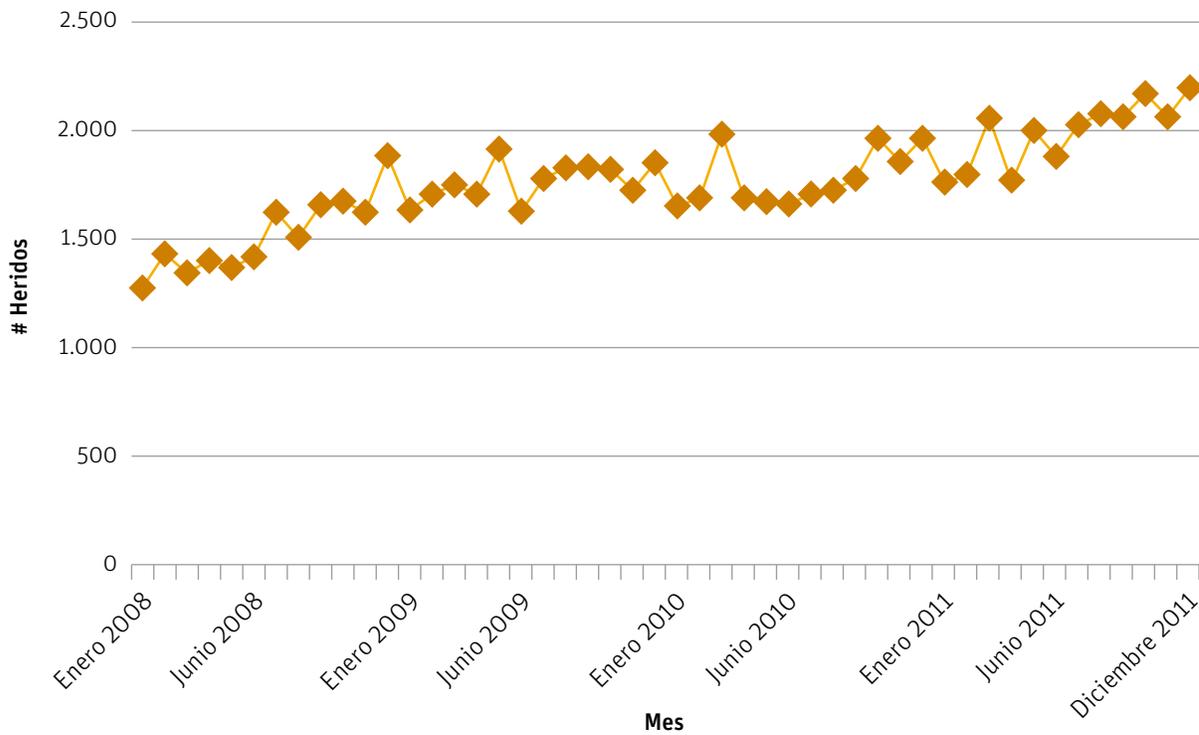
Medellín es una de las ciudades más grandes de Colombia, con aproximadamente 2.368.282 habitantes (DANE, 2010), razón por la cual ha tenido un incremento en el número de accidentes de tránsito reportados al Número Único de Seguridad y Emergencias 123 (NUSE). Debido a ello, las autoridades locales están buscando alternativas para abordar este problema desde el punto de vista de la atención adecuada a las víctimas.

Las estadísticas de la ciudad, para el 2011, indican que durante los últimos años creció la tendencia respecto al número de accidentes de tránsito (Alcaldía de Medellín, 2011). El incremento, entre 2008 y 2009, fue del 1,4% y, para 2010, fue del 0,9%. Para el año 2011, hubo un aumento alarmante del 7,7%, como puede verse en la Figura 1(a). Una de las principales causas de este problema es el aumento en el número de vehículos, que entre 2008 y 2011, pasó de 767.548 a 1.018.257. Esta cifra representa un incremento del 32,6%, aproximadamente. Además, en 2011, los accidentes de tránsito que involucraron heridos crecieron un 12,1%, y el número de muertos se incrementó en un 4,1%, respecto al 2010.

En resumen, la tendencia creciente del número de accidentes de tránsito que involucran heridos (ver Figura 1b.) ha motivado que las autoridades locales busquen alternativas que mejoren el servicio médico de emergencias, no sólo en su parte operativa, sino en la estratégica. Con ello, se pretende garantizar una atención adecuada a las víctimas, a pesar de la escasez de recursos.



**a. Número de accidentes de tránsito por año (2008-2011)**



**b. Número de heridos en accidentes de tránsito por mes (2008-2011)**

**Figura 1. Número de accidentes de tránsito y de heridos (2008-2011)**

Fuente: elaboración de los autores con datos de los informes anuales de accidentalidad de la ciudad de Medellín entre 2008 y 2011. Alcaldía de Medellín (2008,2009,2010,2011)

En el contexto nacional, la situación es similar a la de la ciudad de Medellín. Según datos del Fondo de Prevención Vial, en el año 2011, el 20% del total de muertes violentas en Colombia fueron causadas por accidentes de tránsito. Además, al tomar como referencia los datos disponibles para el año 2011, Colombia supera las tasas de muerte de 19 de los 29 países miembros de IRTAD (*International Road Traffic and Accident Database*), con 12 muertos por cada 100.000 habitantes. (Corporación Fondo de Prevención Vial, 2013). De igual manera, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los traumatismos causados por accidentes de tránsito serán la quinta causa de muerte en 2030, lo que supera enfermedades como el VIH/SIDA (WHO, 2009).

Por todo lo anterior, en este trabajo se desarrolló un modelo matemático de localización de ambulancias. Con dicho modelo se pretende determinar cuál es el número de ambulancias requerido para atender las emergencias reportadas y establecer una apropiada localización geográfica (de acuerdo a la distribución temporal y geográfica de la demanda estimada, obtenida con información histórica), con el objetivo de maximizar la cobertura del servicio.

## 2. Objetivos del estudio.

Realizar un análisis estadístico exploratorio del comportamiento de los eventos que necesitan atención con ambulancia, en su mayoría accidentes de tránsito, en la ciudad de Medellín.

Encontrar la cantidad óptima de ambulancias que necesita el sistema de emergencias de la ciudad de Medellín, por franja horaria (turno del día y turno de la noche), para lograr la maximización de la cobertura en la atención prehospitalaria de las víctimas de los accidentes de tránsito.

Determinar la ubicación de las bases desde donde se hará el despliegue de ambulancias, por franja horaria, del sistema de emergencias de la ciudad de Medellín.

## 3. Pilares del Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020.

La Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó, entre los años 2011 y 2020, el Decenio de Acción para la Seguridad Vial mediante la resolución 64/255, de marzo de 2010 (ONU, 2010), con el propósito de: *“estabilizar y, posteriormente, reducir las cifras previstas de víctimas mortales en accidentes de tránsito, en todo el mundo, aumentando las actividades en los planos nacional, regional y mundial”* (OMS, 2011).

Las acciones previstas para abordar la problemática de la seguridad vial, durante este decenio, están enmarcadas en cinco pilares principales que son: (i) la gestión de la seguridad vial; (ii) vías de tránsito y movilidad más seguras; (iii) vehículos más seguros; (iv) usuarios de vías de tránsito más seguros y (v) respuesta tras los accidentes. El presente estudio está alineado con este último pilar, el cual busca: *“aumentar la capacidad de respuesta a las emergencias ocasionadas por los accidentes de tránsito y mejorar la capacidad de los sistemas de salud y de otra índole, para brindar a las víctimas tratamiento de emergencia apropiado y rehabilitación a largo plazo”*.

En particular, este trabajo se enfoca en las siguientes actividades de dicho pilar (OMS, 2011):

*“Actividad 1: Crear sistemas de atención prehospitalaria, incluida la extracción de las víctimas de los vehículos siniestrados, y poner en funcionamiento un número telefónico único, a nivel nacional, para emergencias, aplicando para ello las buenas prácticas existentes.”*

*“Actividad 7: Alentar actividades de investigación y desarrollo sobre el mejoramiento de la respuesta tras los accidentes.”*

## 4. Población objetivo.

La población objetivo está ubicada en Medellín, Colombia. Esta ciudad tiene aproximadamente 2.368.282 habitantes (DANE, 2010) distribuidos en 271 barrios, los cuales están agrupados en 16 comunas y 5 corregimientos.

## 5. Metodología empleada en el estudio.

La metodología utilizada en el desarrollo del proyecto involucró cuatro aspectos principales: revisión de literatura, selección y planteamiento del modelo matemático, análisis y georreferencia de los datos de accidentalidad de la ciudad de Medellín y, por último, implementación computacional del modelo.

### 5.1. Revisión de la literatura

En esta etapa, se estudiaron los modelos matemáticos que han sido utilizados en el diseño y optimización de sistemas para la prestación de servicios de emergencia. Se identificaron las metodologías usadas para localizar ambulancias, en los sistemas de emergencia. Dichas metodologías pueden ser clasificadas en dos categorías principales: modelos probabilísticos que usan simulación, (Goldberg, 2004) o teoría de colas espacial (Larson, 1975), y modelos de programación entera (Brotcorne, Laporte & Semet, 2003). En este trabajo se propuso un modelo de localización de ambulancias (programación entera) para determinar la cantidad y la localización de éstas, en la ciudad de Medellín.

Para una revisión detallada sobre modelos de localización y relocalización de ambulancias, el lector interesado puede referirse a Goldberg (2004) o Brotcorne et al. (2003). Una de las decisiones que ha sido estudiada considerablemente es la localización de ambulancias para la atención de emergencias. En general, los modelos de programación entera, empleados para la localización de ambulancias, tienen una estructura similar en la que se busca maximizar la capacidad de respuesta del sistema. Para medirla, se considera un tiempo máximo de respuesta que garantice el éxito de la atención, para ello se induce un área de cobertura, la cual determina el lugar donde se debe ubicar una ambulancia.

### 5.2. Selección y planteamiento del modelo matemático.

Para construir el modelo, que permitiera decidir la localización de ambulancias de atención prehospitalaria de la ciudad de Medellín, se utilizaron dos modelos matemáticos: el Problema de Localización de Máxima Cobertura Esperada (Maximum Expected Coverage Location Problem - MEXCLP) (Daskin, 1983) y el Problema de Localización por Cobertura de Conjuntos (Set Covering Location Problem - SCLP) (Toregas et al. 1971).

Inicialmente, el MEXCLP encuentra el número de ambulancias necesarias para operar el sistema, maximizando la demanda cubierta ponderada por la disponibilidad del servicio. En este modelo, partiendo de la estimación global del nivel de ocupación del sistema, es posible establecer la disponibilidad del servicio en cada zona de demanda, teniendo en cuenta el número de ambulancias localizadas dentro del tiempo de respuesta deseado.

Posteriormente, se utilizó una extensión del SCLP para minimizar el número de estaciones en las cuales se ubicarán las ambulancias, manteniendo la calidad del servicio, obtenida con el MEXCLP. Los modelos matemáticos empleados se presentan en detalle en el Apéndice 1.

### 5.3. Análisis y georreferencia de los datos de siniestralidad en vialidades.

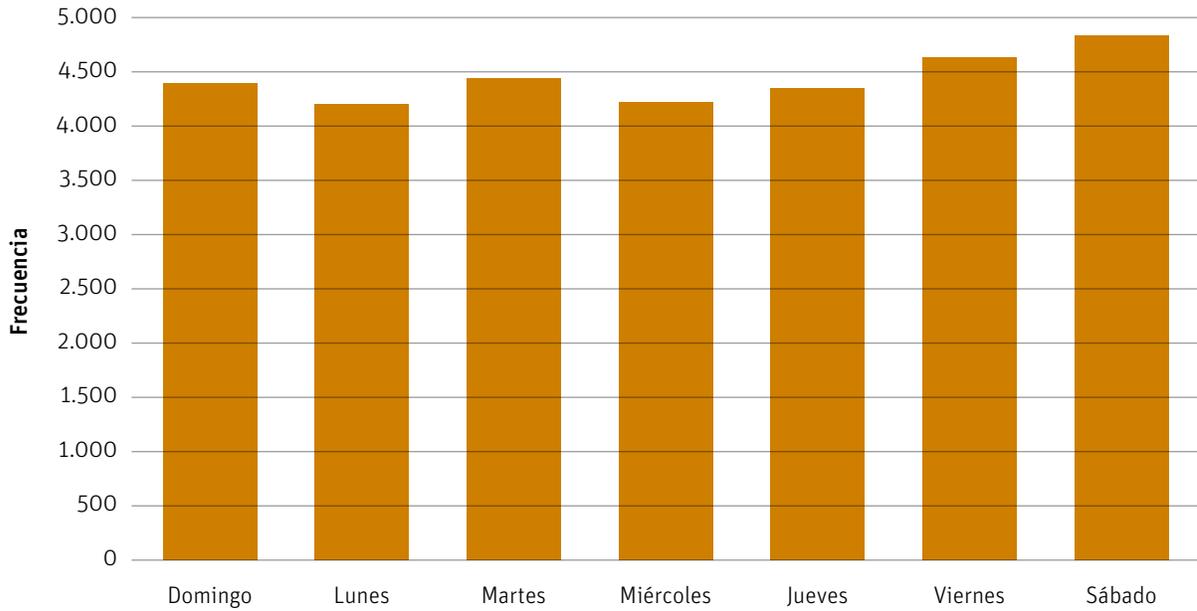
Antes de la implementación del MEXCLP y el SCLP, para el mejoramiento del servicio de ambulancias de la ciudad de Medellín, se analizó la información proporcionada por el Número Único de Seguridad y Emergencias – NUSE. Esta entidad suministró los registros de los eventos que requirieron servicio de ambulancia, ocurridos en la ciudad entre junio de 2010 y mayo de 2011. La información proporcionada fue analizada estadísticamente y los diferentes incidentes reportados se ubicaron geográficamente y agregaron por barrios, utilizando el sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS. Adicionalmente, se hizo una depuración importante, que incluyó

eliminar registros duplicados, no geo ubicados y reportados fuera del área urbana de la ciudad.

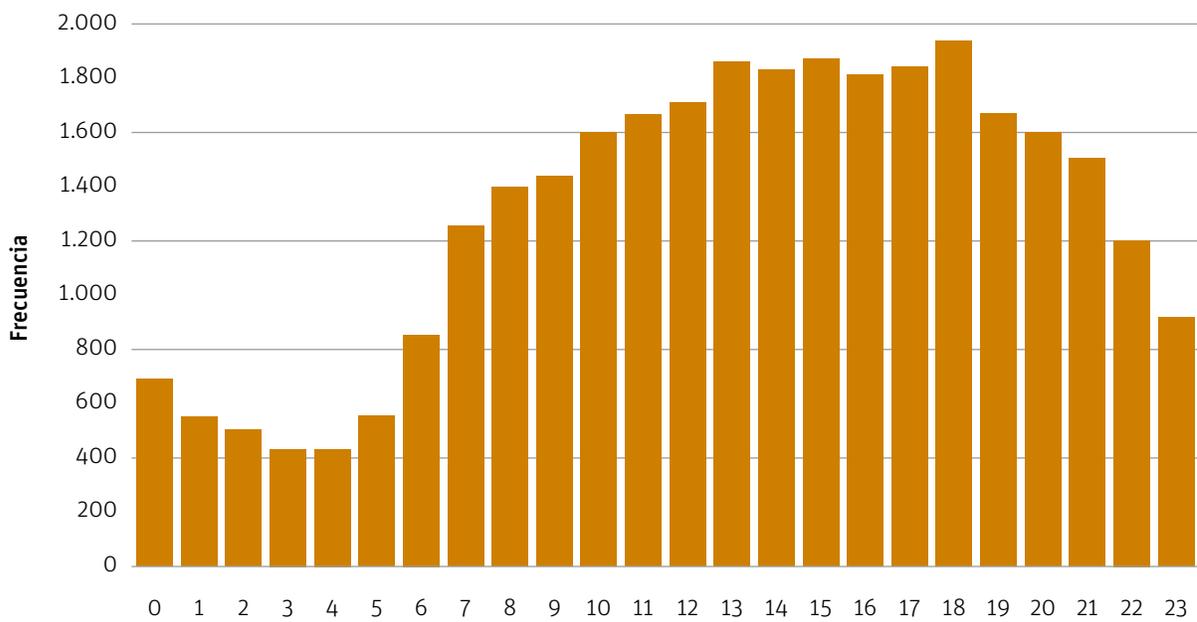
El primer análisis realizado corresponde a la distribución temporal de los eventos. Analizando la ocurrencia de los accidentes, a lo largo de la semana, se encontró un ajuste de distribución uniforme. Esto indica que en general no hay un día de la semana en el cual se concentre un mayor número de incidentes. Este comportamiento se ilustra en la Figura 2a.

Por el contrario, cuando se analizó la distribución de los eventos a lo largo del día, pudo observarse que hay una mayor frecuencia en las horas del mediodía, con algunos picos en la noche. La distribución de los registros podría asociarse a las horas de mayor actividad en la ciudad. En este sentido, se observa una disminución de los eventos en las horas de la madrugada, cuando la movilidad es baja; con un incremento progresivo, en la frecuencia de los eventos, hasta estabilizarse en el horario comprendido entre las 7h y las 19h, para luego decrecer en las horas de la noche y madrugada y retomar el ciclo.

Este comportamiento de los eventos, a lo largo del día, es evidente en la Figura 2b. Apoyados en este comportamiento, se decidió descomponer el análisis en dos turnos de 12 horas cada uno: el turno diurno (de mayor demanda) está comprendido entre las 7h y las 19h; mientras que el turno nocturno (de menor demanda) comienza a las 19h y termina a las 7h.



**a. Distribución de los eventos por día de la semana**



**b. Distribución de los eventos por hora del día**

**Figura 2: Distribución temporal de los eventos reportados al NUSE.**

Fuente: elaboración de los autores con datos suministrados por el NUSE.

Un factor importante a considerar, dentro del MEX-CLP, es el tiempo requerido para la atención de los eventos. En este caso, el análisis se concentra en el tiempo comprendido desde que se despacha la ambulancia hasta la liberación del recurso, una vez que se cierra el ciclo de atención.

Para caracterizar el comportamiento de estos períodos, se analizaron todos los eventos en los cuales había registro del tiempo de atención. Se encontró que el 50.49% de los tiempos están por debajo de los 50 minutos. Igualmente, más del 80% de los eventos reportados al NUSE son atendidos en un tiempo menor o igual a 90 minutos. Finalmente, la distribución de los eventos alcanza el 98% de las observaciones en tiempos menores a 200 minutos, situación que hace poco probable la aparición de tiempos con magnitudes que superen este último valor. A partir de esta información se decidió utilizar un tiempo de 90 minutos por evento, al momento de calcular la carga de atención generada por cada barrio.

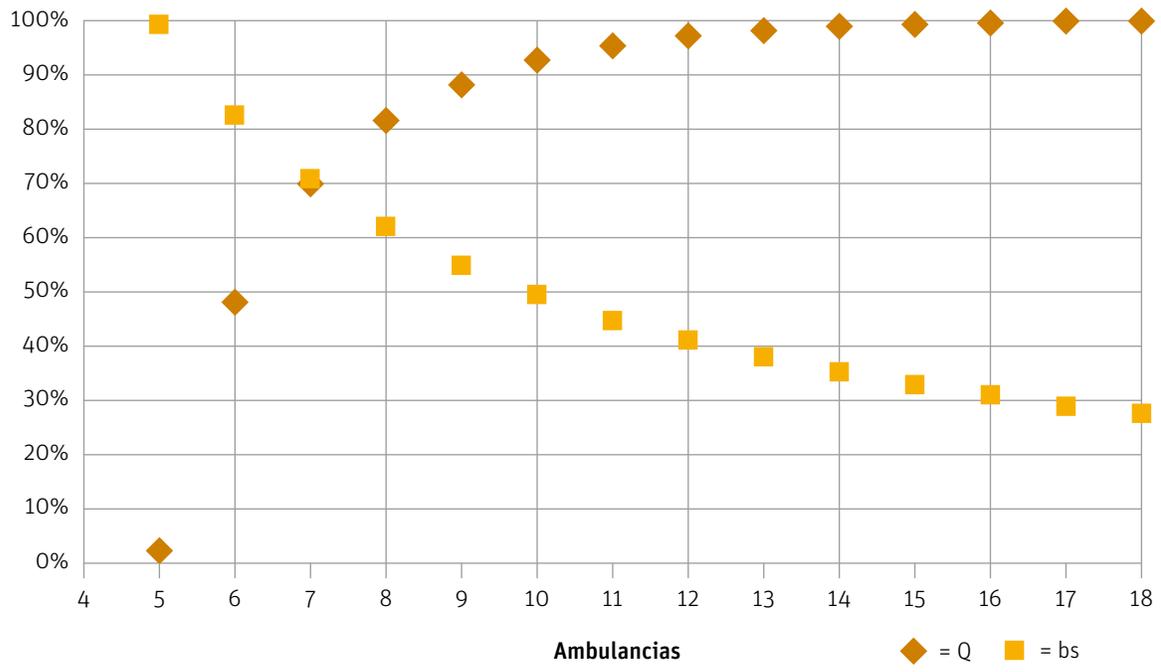
Otro de los componentes importantes del MEXCLP es la distancia máxima de cobertura. Para poder estimar el tiempo de desplazamiento, entre cada posible lugar de ubicación de las ambulancias y los diferentes barrios de la ciudad, se utilizaron las distancias entre los centroides geográficos. Dado que estos desplazamientos se realizan por la malla vial, se utilizó la versión 3 del API, de Google Maps, para encontrar la distancia más corta entre cada par de barrios. Como resultado se obtiene una matriz (asimétrica) de distancias entre barrios, con la cual es posible estimar el tiempo de desplazamiento utilizando para ello la velocidad promedio, reportada en el sistema inteligente de movilidad de la ciudad (SIMM, 2012). En este caso, el tiempo de respuesta máximo deseado fue de 10 minutos, el cual se traduce en una distancia máxima de cobertura de 5.66 Km, al utilizar una velocidad promedio de 34 Km/h.

#### 5.4. Implementación computacional del modelo.

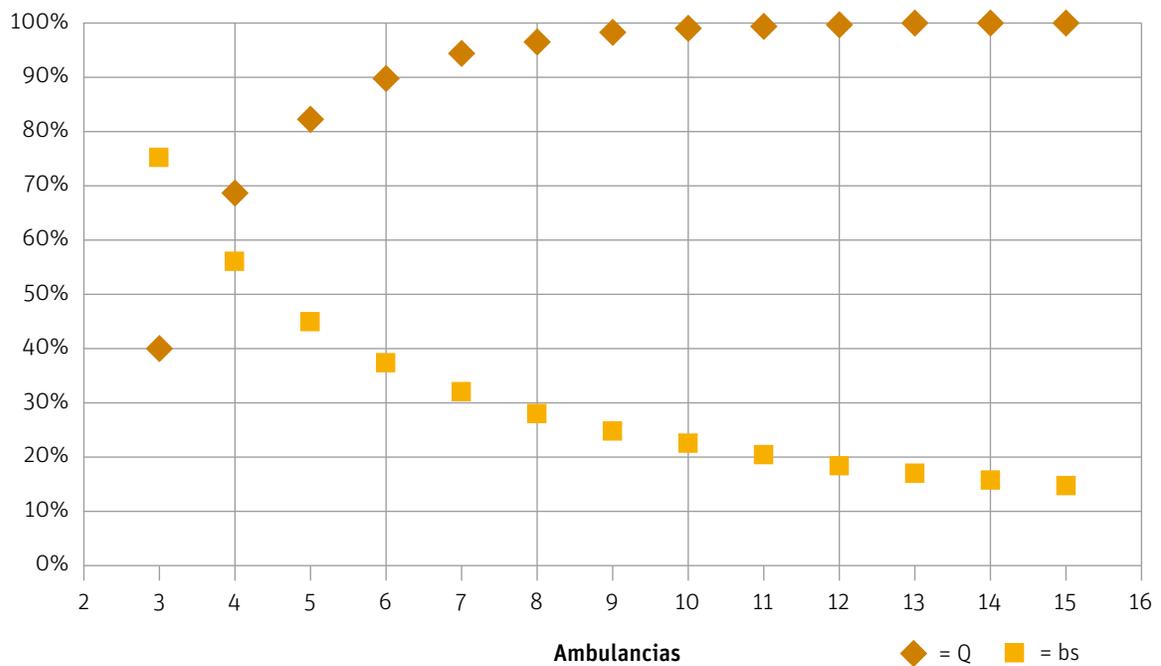
Los modelos de optimización, descritos anteriormente, fueron implementados en el software de optimización IBM-ILOG-CPLEX, Optimization Studio Versión 12.2.

Para evaluar el desempeño de cada solución obtenida, con los modelos de optimización, se utilizaron tres métricas: el número de ambulancias ( $p$ ); la ocupación del sistema ( $b_s$ ) y la disponibilidad promedio ponderada ( $Q$ ). Esta última métrica representa la probabilidad promedio ponderada de que en una zona se encuentre una ambulancia disponible, cuando se haga una llamada solicitando el servicio. Para el análisis de los diferentes escenarios se utilizaron los datos de los dos turnos, por separado.

A partir de un número mínimo de ambulancias se resolvió repetidamente el MEXCLP, incrementando la cantidad de ambulancias gradualmente hasta el momento en el cual no se encontraron mejoras en la métrica  $Q$  mayores al 1%. Como se observa en la Figura 3, para el turno diurno el número necesario de ambulancias es de 14, mientras que para el turno nocturno (de menor demanda) se requieren 10 ambulancias.



**a. Turno del día (7h-19h)**



**b. Turno de la noche (19h-7h)**

**Figura 3. Análisis del número requerido de ambulancias por turno usando el MEXCLP.**

Fuente: elaboración de los autores con datos provenientes de los resultados del modelo de optimización implementado.

Se analizaron tres escenarios diferentes. El escenario base utiliza las estaciones de bomberos como posibles ubicaciones para las bases de despacho y sólo considera seis ambulancias (un número proporcionado por el NUSE, de acuerdo a su disponibilidad de recursos actual). En los otros escenarios, se utilizó el número de ambulancias encontrado con el MEXCLP, en la primera fase, y la ubicación de las bases de despacho para las ambulancias se estableció usando el SCLP. En el escenario I, se consideran todos los barrios de la ciudad, mientras que, en el escenario II, se utilizan las estaciones de bomberos como posible ubicación para las bases.

## 6. Resultados y evaluación del trabajo

Como puede verse, en la Tabla 1, los escenarios I y II mejoran la calidad del servicio  $Q$  con respecto al escenario base, gracias al aumento en el número de ambulancias, encontrado con el MEXCLP. En ambos casos,  $Q$  es mayor al 97%. La comparación con el escenario base muestra una notable mejora en la calidad del servicio para el turno diurno (7h-19h). Allí, el escenario base reporta un valor  $Q$  de sólo el 49%. Esta baja calidad del servicio puede explicarse principalmente por la falta de disponibilidad de ambulancias, prevista por la alta ocupación del

sistema  $b_s = 83\%$  (encontrada con 6 ambulancias). Mientras que el escenario base no cubre un tercio de los barrios de la ciudad (88 de 271), los escenarios I y II dejan muy pocos barrios no cubiertos, 3 y 10, respectivamente.

Es importante resaltar que para ambos turnos la diferencia en la calidad del servicio, en los escenarios I y II, es de sólo 1%. Este resultado indica que las estaciones de bomberos son una buena alternativa para localizar las ambulancias, ya que parecen tener una buena distribución alrededor de la ciudad, como se puede ver en las Figuras 4 y 5. En este caso, la principal contribución del modelo propuesto es la determinación del número de ambulancias que se debe asignar a cada estación de bomberos.

Por otro lado, para el turno de la noche, la diferencia entre el escenario base y los escenarios I y II es mucho menor. A pesar de que seis ambulancias no son el óptimo para este turno, proporcionan una calidad de servicio tolerable ( $Q=83\%$ ). Adicionando 4 unidades más, para llegar a 10 ambulancias, se mejora  $Q$  en un 15% y los barrios no cubiertos disminuyen aproximadamente al 10%. En este turno buena parte de las ambulancias pueden estar localizadas fuera del centro de la ciudad, debido a que la demanda de servicios de emergencia se mueve a las áreas residenciales. En las Figuras 4 y

Tabla 1. Resumen de resultados para los diferentes escenarios

Turno	Escenario	p	$b_s$ (%)	Q (%)	Barrios no cubiertos
Día (7h-19h)	Base	6	83	49	88
	I	14	35	98	3
	II	14	35	97	10
Noche (19h-7h)	Base	6	38	83	29
	I	10	23	98	14
	II	10	23	97	17

Fuente: elaboración de los autores con datos provenientes de los resultados del modelo de optimización implementado.

5 se muestra el despliegue del número necesario de ambulancias, en los escenarios I y II, para ambos turnos. Como se puede observar, el despliegue de las ambulancias se adapta a los patrones de demanda en función de la concentración geográfica y temporal de las emergencias, reportadas al sistema de acuerdo a la hora del día (una política que no se considera actualmente en la administración del sistema). Durante el turno diurno, el servicio se focaliza en el centro de la ciudad, ya que ésta es la

zona con mayor número de incidentes. Por el contrario, durante el turno nocturno, un mayor número de incidentes se concentra en las zonas residenciales (periferia de la ciudad).

Por último, el efecto de la segunda fase del modelo propuesto, que busca el número mínimo de bases de despacho, es más evidente en el turno nocturno, donde la solución del escenario I sugiere que el sistema requiere 5 bases para localizar 10 ambulancias.

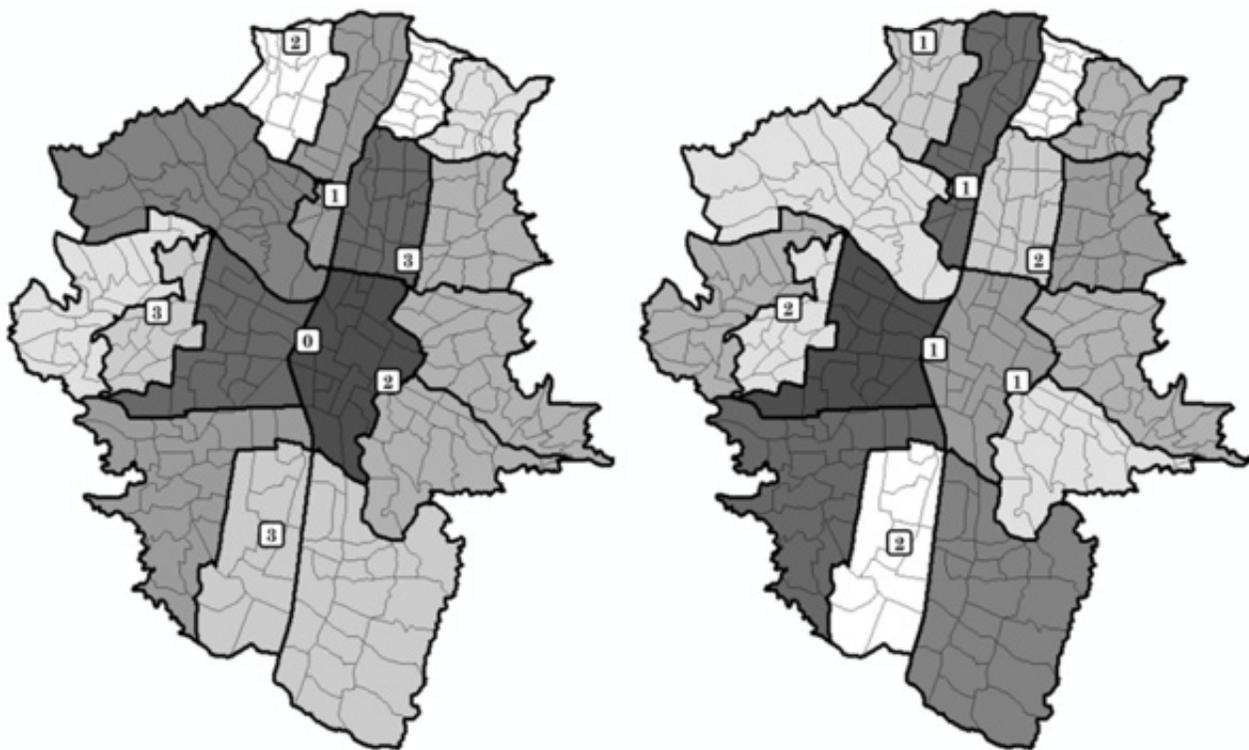


*a. Turno del día*

*b. Turno de la noche*

**Figura 4: Despliegue de las ambulancias en el Escenario I.**

Fuente: elaboración de los autores con datos provenientes de los resultados del modelo de optimización implementado.



*a. Turno del día*

*b. Turno de la noche*

**Figura 5: Despliegue de las ambulancias en el Escenario II.**

Fuente: elaboración de los autores con datos provenientes de los resultados del modelo de optimización implementado.

En resumen, en este trabajo se presenta el modelo de localización desarrollado para apoyar a las autoridades de Medellín en la mejora del sistema de atención prehospitalaria. El sistema está dedicado, principalmente, a atender los heridos ocasionados por los accidentes de tránsito, fenómeno que viene creciendo y ha generado preocupación en la administración municipal y en la población en general. El modelo desarrollado combina los elementos del problema de localización de máxima cobertura esperada (MEXCLP) y el problema de localización por cobertura de conjuntos (SCLP).

Al aplicar el modelo propuesto a los datos históricos del periodo, comprendido entre junio de 2010 y mayo de 2011, se encontró que la propuesta de mover las ambulancias de sus bases actuales, ubicadas en las estaciones de bomberos (una alternativa que la ciudad está explorando), aporta poco en la mejora de la calidad del servicio.

Por el contrario, fue posible identificar el número necesario de ambulancias que debería operar el sistema, el cual es mucho mayor que el número actual, y estimar que un aumento en el número de ambulancias podría mejorar la calidad del servicio en aproximadamente un 49%, para el turno diurno, y en un 15% para el turno nocturno. Igualmente, puede alcanzarse una reducción importante de los barrios no cubiertos, pasando de 88 a menos de 10 en el turno diurno, y de 29 a 14 en el turno nocturno.

La flexibilidad de la metodología empleada (programación entera) permite extender el análisis realizado a otros contextos. Esto se lograría alimentando los modelos matemáticos propuestos con los datos propios de otros servicios de emergencias.

## 7. Informaciones adicionales / Comentarios.

Una versión preliminar de este trabajo fue presentada en el Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa/ Simposio Brasileiro de Pesquisa Operacional (XVI CLAIO/XLIV SBPO). Rio de Janeiro – Brasil, Septiembre 24-28 de 2012, bajo el título: *Mejoramiento de la localización de ambulancias de atención pre-hospitalaria en Medellín (Colombia) con modelos de optimización.*

**Agradecimientos:** los autores agradecen el apoyo recibido de la Universidad de Antioquia, a través de los proyectos de Investigación MC10-1-01 (Identificación de un modelo de decisión para la operación logística del sistema de Teleasistencia Prehospitalaria del Valle de Aburrá), y de Extensión BUPPE-223104 (Estructuración de un Modelo de Operación Logístico para el Sistema de Teleasistencia Prehospitalaria del Área Metropolitana del Valle de Aburrá). Este trabajo también fue cofinanciado por la Empresa de Seguridad Urbana (ESU) de la ciudad de Medellín. Los autores agradecen este apoyo así como el acceso a la información utilizada en el caso de estudio. Finalmente, los autores expresan sus agradecimientos a IBM-ILOG por el acceso brindado a la licencia de CPLEX a través de la Iniciativa Académica de IBM.

## Apéndice 1. Modelo matemático.

Para formular el modelo de localización de ambulancias de atención prehospitalaria, de la ciudad de Medellín, se propone una extensión del SCLP en la cual se utilizan secuencialmente dos modelos de localización. Un primer modelo, basado en el MEXCLP, encuentra el número de ambulancias necesarias para operar el sistema. Posteriormente, un segundo modelo combina elementos del SCLP y del MEXCLP para minimizar el número de estaciones en las cuales se ubicarán las ambulancias. La notación necesaria para construir los dos modelos se describe a continuación.

Sean  $J = \{1, \dots, m\}$  el conjunto de lugares donde es posible ubicar las ambulancias (i.e., bases de despacho),  $p$  el número de ambulancias que se busca localizar,  $I = \{1, \dots, n\}$ , el conjunto de zonas de demanda para el servicio de ambulancias (i.e., barrios de la ciudad). Cada barrio  $i \in I$  tiene asociada una demanda  $d_i$  (medida en minutos) que representa el tiempo de atención derivado de los accidentes que ocurren en el barrio. La distancia entre las bases de despacho,  $i \in I$  y los barrios  $j \in J$  se denota con  $h_{ij}$ . A su vez,  $h_{max}$  representa la distancia máxima de cobertura (la cual se deriva a partir del tiempo de respuesta máximo establecido para el diseño del sistema). Utilizando los valores de  $h_{ij}$  y  $h_{max}$  es posible determinar el conjunto  $N_i$  de bases que están en capacidad de atender al barrio  $i \in I$ , dentro del tiempo máximo de respuesta:  $N_i = \{j \in J: h_{ij} \leq h_{max}\}$ .

Con base en la duración del turno  $t$  (medida en minutos) y la demanda total agregada, se estima la utilización global del sistema  $b_s$ , uno de los componentes más importantes del MEXCLP, la cual está dada por la expresión (1):

$$b_s = \frac{\sum_{i \in I} d_i}{p \times t} \quad (1)$$

Una vez obtenida  $b_s$  es posible calcular el índice de calidad  $q_k$ , que mide la disponibilidad del servicio en un barrio, cuando se tienen  $k$  ambulancias localizadas dentro del radio de cobertura  $N_i$ . Bajo el supuesto de independencia de la ocupación de las ambulancias,  $q_k$  es la probabilidad de que haya al menos una ambulancia disponible para atender la demanda de un barrio. El valor de  $q_k$  se calcula para cada uno de los posibles valores de  $k$  ( $k=1, \dots, p$ ), según se muestra en la expresión (2).

$$q_k = 1 - (b_s)^k \quad (2)$$

El número de ambulancias, localizadas en un determinado sitio, se representa con la variable de decisión entera  $x_j$  ( $\forall j \in J$ ). Mientras que la variable binaria  $y_{ik}$  ( $\forall i \in I, k=1, \dots, p$ ) permite calcular la calidad del servicio ofrecida a cada barrio;  $y_{ik} = 1$  si el barrio  $i$  está cubierto por  $k$  ambulancias,  $y_{ik} = 0$  en caso contrario. Utilizando la notación anterior, el MEXCLP puede formularse tal como lo describen Sorensen y Church (2010):

$$\max z_1 = \sum_{i \in I} \sum_{k=1}^p d_i q_k y_{ik} \quad (3)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq \sum_{k=1}^p k y_{ik} \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^p y_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (6)$$

$$x_j \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, k = 1, \dots, p \quad (8)$$

La función objetivo  $z_1$ , calculada en la expresión (3), representa la cobertura esperada ponderada total de los barrios de la ciudad. Las restricciones (4) y (5) permiten calcular la cobertura de cada barrio. La restricción (4) asegura que la variable  $y_{ik}$  sea igual a 1, cuando el barrio  $i$  tiene  $k$  ambulancias ubicadas dentro del radio de cobertura  $N_i$ . Mientras que la restricción (5) obliga a que sólo un valor de  $q_k$  sea considerado para cada barrio. Por su parte, la expresión (6) establece que se ubicarán  $p$  ambulancias. Finalmente, las expresiones (7) y (8) definen el dominio de las variables de decisión.

El MEXCLP, descrito en el modelo(3) – (8), se utiliza en un análisis paramétrico en el cual el valor de  $p$  se incrementa iterativamente hasta llegar a un nivel en el cual la cobertura esperada no aumenta más de un 1% al agregar una ambulancia más al sistema. Este análisis paramétrico permite encontrar un número necesario de ambulancias  $\hat{p}$  y un valor óptimo de cobertura asociado  $z_1^*$ . Utilizando estos valores se construye un segundo modelo, agregando al SCLP los elementos del MEXCLP descritos previamente.

El modelo propuesto busca minimizar el número de bases desde las que se despachan las ambulancias, ya que es más costoso operar un sistema con muchas bases. Para construir este nuevo modelo, es necesario definir una nueva variable binaria  $w_j$ . Si se decide ubicar una base para el despacho de ambulancias en el sitio  $j \in J$  la variable  $w_j$  es igual a 1; mientras que  $w_j$  es igual a 0, si no se ubica una base en el sitio  $j \in J$ .

Utilizando la notación del MEXCLP y la nueva variable introducida, el modelo propuesto se formula de la siguiente manera:

$$\min z_2 = \sum_{j \in J} w_j \quad (9)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i \in I} \sum_{k=1}^p d_i q_k y_{ik} = z_1^* \quad (10)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq \sum_{k=1}^p k y_{ik} \quad \forall i \in I \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^p y_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = \hat{p} \quad (13)$$

$$x_j \leq \hat{p} \cdot w_j \quad \forall j \in J \quad (14)$$

$$w_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (15)$$

$$x_j \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall j \in J \quad (16)$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \quad k = 1, \dots, p \quad (17)$$

La función objetivo (9) busca minimizar el número de bases abiertas garantizando (con la restricción (10) que la cobertura esperada, obtenida con el análisis paramétrico del MEXCLP, no se empeora. Por su parte, la restricción (13) garantiza que el número de ambulancias obtenido con el análisis paramétrico también se conserva. La nueva restricción (14) garantiza que sólo se asignan ambulancias a bases abiertas. Las restricciones del MEXCLP (11)-(12) y (16)-(17) se conservan sin modificación. Mientras que las nuevas variables de decisión se definen en la restricción (15).

Siguiendo este proceso de dos etapas se optimizan lexicográficamente  $z_1$  y  $z_2$ . Es decir, con el MEXCLP se busca primero la mejor cobertura esperada y el número de ambulancias y luego, con el modelo propuesto, se busca en los posibles óptimos alternos del MEXCLP aquel que utiliza el menor número de bases de despacho de ambulancias.

## 8. Referencias Bibliográficas.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2010). Boletín censo general, 2005, Bogotá.

Alcaldía de Medellín (2008). Informe Anual de Accidentalidad 2008. Medellín. [http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/accidentalidad/informe\\_anual\\_2008.pdf](http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/accidentalidad/informe_anual_2008.pdf). [Consultado: 26-Oct-2013].

Alcaldía de Medellín (2009). Informe Anual de Accidentalidad 2009. Medellín. [http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/accidentalidad/informe\\_anual\\_2009.pdf](http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/accidentalidad/informe_anual_2009.pdf) [Consultado: 26-Oct-2013].

Alcaldía de Medellín (2010). Informe Anual de Accidentalidad 2010. Medellín. [http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/documentos-interes/informe\\_accidentalidad.pdf](http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/documentos-interes/informe_accidentalidad.pdf) [Consultado: 26-Oct-2013].

Alcaldía de Medellín (2011). Informe Anual de Accidentalidad 2011. Medellín. [http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/accidentalidad/informe\\_anual\\_2011.pdf](http://www.medellin.gov.co/transito/archivos/accidentalidad/informe_anual_2011.pdf) [Consultado: 26-Oct-2013].

Corporación Fondo de Prevención Vial (2013). Anuario estadístico de accidentalidad vial Colombia 2011. Bogotá.

World Health Organization (2009). *Global status report on road safety 2009*. Switzerland: Department of Violence & Injury Prevention & Disability.

Organización de las Naciones Unidas (2010). Resolución 64/255 *Mejoramiento de la seguridad vial en el mundo*. [Online]. Disponible: [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/publications/road\\_traffic/UN\\_GA\\_resolution-54-255-es.pdf](http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/UN_GA_resolution-54-255-es.pdf) [Consultado: 26-Oct-2013].

Organización Mundial de la Salud, Organización de las Naciones Unidas (2011). *Plan mundial para el decenio de acción para la seguridad vial 2011-2020*.

Goldberg JB (2004). Operations research models for the deployment of emergency services vehicles. *EMS Management Journal*. 1:20-39.

Larson R (1975). Approximating the performance of urban emergency service systems, *Operations Research*, 23:845-868.

Brotcorne L, Laporte G, Semet F (2003). Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research*, 147:451-463.

Daskin, MS (1983). A maximum expected covering location model: Formulation, properties and heuristic solution. *Transportation Science*, 17:48-70

Toregas C, Swain R, ReVelle C, Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19:1363-1373.

Sistema Inteligente de Movilidad (SIMM) de Medellín (2012). *Indicadores de Movilidad. Secretaría de Tránsito y Transporte de Medellín*. [Online]. Disponible: <http://www.Medellin.gov.co/transito/lineabase.html> [Consultado: 14-May-2012].

Sorensen, P. & Church, R. (2010). Integrating expected coverage and local reliability for emergency medical services location problems. *Socio-Economic Planning Sciences*, 44: 8-18.







Genius



Banco Interamericano de Desarrollo  
Oficina de Alianzas Estratégicas  
Sector de Infraestructura y Medio Ambiente  
División de Transporte  
Estrategia de Seguridad Vial

1300 New York Avenue, N.W.  
Washington, D.C. 20577, USA  
Tel: (202) 623-1000  
Fax: (202) 623-3096  
[www.iadb.org/seguridadvial](http://www.iadb.org/seguridadvial)