

Simulación del Sistema de Atención Pre-hospitalario de la Ciudad de Medellín

Juan Villada Oquendo

ARTICA - Universidad de Antioquia
Calle 70 No. 52 – 21. Off: 21-413
jgvillad@gmail.com

Gloria Osorno Osorio

Universidad de Antioquia
Calle 70 No. 52 – 21. Off: 21-413
gosorno@udea.edu.co

RESUMEN

Este artículo presenta una aplicación de la simulación de eventos discretos sobre la operación logística del sistema de atención de emergencias pre-hospitalaria de la ciudad de Medellín - Colombia. El modelo de simulación busca determinar si la causa de congestión en el sistema es la falta de recursos o las fallas operativas en la atención del centro de emergencias (SIES-M¹). El modelo sirvió principalmente para soportar el rediseño y soporte de intervenciones directas sobre puntos críticos de operación como son la clasificación de eventos y protocolos de atención en la recepción y el despacho de recursos. Estas intervenciones con miras a tener estándares de tiempo de operación acorde a sistemas similares internacionales.

Palabras Clave: Simulación de eventos discretos, Atención pre-hospitalaria, centros de emergencia.

ABSTRACT

This paper present a direct application of discrete-event simulation applied to the logistical operation of prehospital care in Medellín – Colombia. The main question of the model is to determine whether nowadays congestion events are caused by lack or resources or by operational failures in the emergency center (SIES-M¹). The model was mainly used to support the redesign and supporting direct interventions on critical operation points such as the events classification, design of care protocols in the reception and dispatch. These interventions are made in order to improve the time indicators in the system.

Keywords: Discrete-event simulation, prehospital care, emergency center.

¹ Sistema Integrado de Emergencias y Seguridad – Metropolitano

1. Introducción

El crecimiento demográfico, industrial, de transporte, entre otras variables socio-económicas en las ciudades, ha venido acompañado de una demanda creciente de los servicios de emergencias y de salud. Por lo cual, la entidad regulatoria (municipio u otra) encargada de la atención primaria de urgencias debe constantemente adecuarse, modernizarse y mejorar sus estándares de operación brindándole a la ciudad un sistema efectivo y de calidad. Ante esta necesidad, los modelos de simulación han sido una herramienta de soporte en la toma de decisiones permitiendo identificar puntos críticos de operación y proponiendo mejoras para el adecuado funcionamiento de los sistemas de atención de emergencias (*S. G. Henderson, B. Biller et al. 2007*), (*J. B. Jun, S. H. Jacobson et al. 1999*).

El Área metropolitana de Medellín (compuesto por 10 municipios) presenta un número considerable de emergencias, siendo Medellín con 2'223.660 habitantes donde se reporta la mayor cantidad de incidentes, un 72%, seguido por Itagüí con el 5,4%, Envigado con el 4,9%, Bello con el 4,8% y el resto entre los demás municipios. (*Henaó Moreno A., Puerta Muñoz N. et al. 2008*). Si se logrará una adecuada atención primaria y manejo pre-hospitalario en los primeros minutos, se minimizaría los efectos secundarios y se tendría un mejor pronóstico asistencial para el manejo del trauma. Sin embargo, Medellín carece de un sistema integrado de emergencias médicas - **SEM** - que integre todas sus operaciones como lo establece el artículo 67 de la Ley 1438 de 2011 (*Congreso de la República 2011*), el cual habla de un monitoreo del paciente desde que se reporta un accidente hasta su arribo al centro asistencial.

Esa carencia de un sistema integrado, motivó al desarrollo de un modelo de simulación que permitiera analizar el despacho oportuno de los recursos, midiendo específicamente los tiempos de operación internos en el sistema y proponiendo intervenciones que permitan al centro de seguridad operar bajo estándares internacionales de calidad. Así mismo, se diseñaron escenarios de operación y de inversión en recursos de atención, principalmente de ambulancias. El modelo se ha desarrollado en convenio entre la ESU, ARTICA y la Universidad de Antioquia (*Proyecto Teleasistencia 2011*).

Con el modelo de simulación se pretende conocer si la congestión en el sistema es causada por la falta de recursos, o es fruto de errores de procedimiento de operación del sistema de atención de emergencia de la ciudad de Medellín. A continuación se presenta un resumen de literatura de modelos de simulación orientados al análisis de sistemas de atención de emergencias y de salud.

Simulación en la logística de atención de emergencias y entidades de salud

Desde los 60's, los modelos de investigación de operaciones (IO) han sido desarrollados como soporte para la toma de decisiones en los sistemas de salud y emergencia. Principalmente, modelos orientados a la planeación, evaluación de políticas y la localización de recursos. Dentro de la amplia gama de modelos de IO, la simulación tiene atributos deseados para el análisis de sistemas de emergencia; ya que permite el análisis estocástico de eventos con alta variabilidad e incertidumbre, asimismo posibilita el análisis de casos y escenarios altamente complejos y con un buen nivel de detalle. Además, permite una adecuada interacción y comunicación entre el modelador y los usuarios finales. (*S. G. Henderson, B. Biller et al. 2007*). Este tipo de simulación cubre una gran variedad de aplicaciones. De forma general estas pueden agruparse mediante 1) Modelos de cuerpo humano; 2) Modelos de operación; 3) Modelos de estrategia o largo plazo.

Los modelos enfocados al cuerpo humano llamados frecuentemente "modelos de enfermedad" sirven principalmente para representar procesos biológicos en la salud individual de las personas, estos modelos pueden ser a nivel del sistema (cuerpo) o de órganos; Aún, a nivel celular o microbiológico. Estos modelos son usualmente usados para estudiar la

efectividad o costo-beneficio de alguna intervención médica en un paciente. También para efectos sobre una población afectada o en riesgo potencial. (*S. G. Henderson, B. Biller et al. 2007*).

Los modelos de operación, son de tipo táctico a nivel de las unidades de emergencia o salud (una clínica, centro de salud). Estos generalmente no centran su atención en los pacientes sino en el “flujo” de estos dentro del sistema, para identificar y eliminar embotellamientos que reducen la calidad de atención. Estos modelos son usados principalmente para la planeación de la capacidad, asignación de recursos y el rediseño de procesos. El tipo de modelamiento usado para este enfoque es la simulación de eventos discretos (ED) el cual es muy amplio en la literatura como lo muestran (*S. G. Henderson, B. Biller et al. 2007*) y (*J. B. Jun, S. H. Jacobson et al. 1999*) en su amplia revisión del estado del arte. (*J. B. Jun, S. H. Jacobson et al. 1999*) describen como en las últimas décadas el aumento drástico de los costos de la salud ha generado para las organizaciones prestadoras de este servicio una fuerte presión para proporcionar una mejor atención sanitaria de calidad para sus pacientes. Ante esta necesidad, algunas entidades han utilizado la simulación de eventos discretos como una herramienta eficaz para la asignación de recursos escasos para mejorar el flujo de pacientes y reducir al mínimo los costos de prestación de atención de salud y aumentar la satisfacción del paciente.

La última línea de modelos de simulación en éste tópico, los modelos de estrategia a largo plazo, son los que miran todo el sistema y no una parte o nivel de detalle específico. Este tipo de modelos es más poco común en la literatura. Estos modelos son generalmente representados mediante “dinámica de sistemas” (DS) los cuales están orientados a responder preguntas del sistema en periodos extendidos en el tiempo (*S. G. Henderson, B. Biller et al. 2007*).

Este trabajo se concentra en los modelos de operación, porque estos representan adecuadamente el objetivo planteado del proyecto sobre el análisis de la operación logística del sistema de atención pre-hospitalaria de la ciudad de Medellín. En este tipo de modelos, las principales aplicaciones que se han hallado están enfocadas a la planeación de recursos o la capacidad de atención de las unidades hospitalarias siguiendo el flujo de información, recursos o paciente a través del sistema. Estos modelos pueden agruparse de acuerdo al enfoque primario de su estudio. Estos pueden ser, modelos de flujos de pacientes (programación de citas, ruteo de pacientes, programación y disponibilidad de recursos) o de asignación de recursos (tamaño de camas y unidades de emergencias, programación de habitaciones, de personal y otros recursos).

Los modelos de programación de citas van enfocados al análisis de procedimientos para determinar cómo son asignadas y programadas éstas y como son consolidadas día tras día y el tiempo que durarán. (*Fetter R. B and Thompson J.D. 1965*) muestran uno de los primeros estudios en éste área de simulación bajo este enfoque, donde se centra en indicadores de tiempo de espera por citas considerando la utilización de los recursos utilizados por cada paciente. El tiempo de utilización de los recursos es un análisis fundamental que se ha diagnosticado para el modelo a desarrollar con este proyecto. (*Smith E. A and Warner H. R. 1971*) Compararon el modelo de asignación de citas cuando los pacientes llegan de acuerdo con un patrón de llegada uniforme frente a un patrón de llegada altamente variable. Con este estudio, se mostró que el patrón de la llegada uniforme puede reducir la duración media de estancia en las clínicas en más del 40%. Lo que ha dado luces para plantear políticas que busquen que los pacientes arriben de dicha manera. Este tipo de modelos ha mostrado además que tener departamentos especializados de consulta externa distribuidos uniformemente sobre el territorio para la demanda de servicios puede mejorar el rendimiento global del sistema.

Los modelos de ruteo de pacientes permiten analizar estructuras complejas que los modelos clásicos de optimización no podrían verificar. En especial, estos modelos permiten un análisis variado de posibles cambios que puedan darse en el sistema real en cualquier instante. (*García M., Centeno M. A et al. 1995*) Analizaron los efectos del uso de zonas rápidas especiales para reducir los tiempos de espera de los pacientes de baja prioridad en las salas de emergencia. Las salas de emergencia en general asignan un orden de prioridades de acuerdo con el nivel de

enfermedad o gravedad del paciente, por lo tanto, los pacientes de baja prioridad regularmente esperan durante períodos excesivamente largos.

Los modelos de programación y disponibilidad de recursos están dirigidos principalmente a la asignación de la demanda de pacientes para el médico. Una serie de estudios, sin embargo, han abordado el problema desde el lado inverso (es decir, el personal puede ser programado para satisfacer la demanda del paciente, mientras que las llegadas de pacientes puede dejarse sin cambios). (*Alessandra A. J., Grazman T. E. et al. 1978*) estudiaron los niveles de personal y las tasas de llegada de pacientes para aliviar los cuellos de botella y mejorar el rendimiento de atención. La variación de la estructura de la plantilla de personal y el esquema de planificación de los pacientes fueron analizados. Este tipo de análisis es fundamental para determinar la capacidad de atención de los centros de atención de salud y emergencias. (*Harper and A.K. Shahani. 2002*) usa la simulación discreta para estimar requerimientos futuros estacionales del número de camas para diversos tipos de pacientes que pueden ingresar al sistema de salud. Este análisis incorpora estructura temporal especial. Este comportamiento es sumamente importante si deseamos un modelo acorde a la estructura real del sistema observado para Medellín.

Otra área de interés de planeación de capacidad, es la de cuidado intensivo por tener altos costos de funcionamiento y equipos especializados. En la planeación de estas unidades, es vital proveer un número adecuado de camas y personal para atender adecuadamente la ciudadanía. (*Griffiths J.D., N. Price-Lloyd et al. 2005*) desarrollaron un modelo de simulación considerando la dinámica de eventos posibles que se presentan y considerando restricciones de personal especializado así como del número de enfermeras por turnos. En el modelo no solo se incluyó el número adecuado de camas, sino además el personal requerido para atender las unidades de cuidado intensivo. El modelo fue implementado en el software Simul8 y contempla niveles de detalle como el tipo de referencia del paciente, la disponibilidad de enfermeras por horas, variaciones entre días y horas del comportamiento del sistema, entre otras.

Es evidente que el uso de la simulación por computador para la planificación de una futura expansión, integración y/o construcción de nuevas instalaciones y de servicios, ha mejorado considerablemente la capacidad de la administración para los tomadores de decisiones. La simulación puede abarcar estructuras muy generales de la operación así como el uso específico de alguna unidad. Se resalta de estos modelos que la mayoría no tienen plenamente en cuenta las interrelaciones entre las diferentes unidades hospitalarias que puedan darse. Además que pocos modelos han sido validados con datos reales de funcionamiento. Esta crítica es ampliamente citada en los estudios de simulación citados.

Cabe resaltar que los modelos referenciados hacen representación de unidades hospitalarias y en general están orientados a medir la capacidad del sistema. Hasta el momento no se encontrado un modelo de simulación en la literatura que abarque todo el sistema de atención pre-hospitalaria desde que se recibe una llamada hasta que se da el cierre del caso, en general, los modelos analizan componentes o unidades específicas pero no todo el sistema que se despliega ante una emergencia. Los modelos de simulación hallados para la atención pre-hospitalaria van enfocados a la preparación y mejora de las competencias del personal APH. Dada la estructura construida en este proyecto, donde se construyó un flujograma de la operación actual, se identificaron las etapas del proceso de atención y en cada una de ellas se detectaron puntos de intervención, con lo cual se hizo un modelamiento amplio del flujo de información y eventos a través de todo el sistema. Por lo tanto, se hace una simulación de eventos discretos acorde a la estructura identificada y tomando los eventos desde que ingresa una llamada hasta que se cierran los casos en el sistema. Una justificación válida para tener poca referencia sobre el funcionamiento del despliegue de los sistemas de atención de emergencia, es que estos son operados logísticamente por líneas tipo (911, 112), los cuales responden a modelos de negocio en atención de emergencias y por lo tanto la información logística de operación es poco difundida.

2. Metodología

Cómo se ha mencionado previamente, la metodología seleccionada es la simulación de eventos discretos, ya que esta representa adecuadamente la forma en la que fluyen los casos dentro del sistema. A continuación se presenta la descripción general del sistema de emergencias pre-hospitalario de la ciudad de Medellín y se resumen los principales eventos discretos que ocurren en el sistema en cinco macro etapas identificadas.

2.1 Descripción General del Sistema de Emergencias de Medellín

El sistema de emergencias de la ciudad de Medellín está compuesto por entidades públicas y privadas, a través de las cuales el gobierno local brinda acompañamiento a la ciudadanía. Actualmente, el sistema de emergencias está compuesto por las siguientes entidades (Número Único de Seguridad y Emergencia, Brigada interna, Cruz Roja, Comité Barrial, Defensa Civil, Ejército, Policía, Rescate Antioquia, Tránsito, Bomberos).

El manejo de todo tipo de emergencias en la ciudad de Medellín gira en torno al SIES-M entidad que opera el Número único de segura y emergencias “123”. Desde esta entidad se coordina la recepción de llamadas, el despacho de unidades y se le hace un seguimiento a las emergencias. Cuando se presenta una emergencia en la ciudad de Medellín, los ciudadanos que protagonizan la emergencia o aquellos que la reportan al número único de seguridad y emergencias (1-2-3), en este número la llamada es recibida por un receptor, esta persona es la encargada de verificar inicialmente la veracidad de la llamada y luego tratar de obtener los datos necesarios para establecer el tipo de emergencia, luego de establecida se comunica con el despachador, persona encargada de verificar la emergencia, administrar las disponibilidad de los recursos, direccionar a las unidades a centros de emergencias pertinentes dependiendo del tipo de incidente y registrar la liberación de recursos después de la atención de la emergencia. En el sistema de atención de emergencia se identifican claramente cuatro actores:

Receptor: Personal de la policía nacional, ubicado en el SIES-M, encargado de realizar la recepción y la categorización de las llamadas que llegan al 123. Esta persona es responsable por la toma de información vital que permita la atención adecuada de los casos.

Despachador: Cada agencia tiene una persona encargada de coordinar las unidades de intervención y de dar aviso a los diferentes centros de despacho para inicien el traslado al lugar de la emergencia. En la atención pre-hospitalaria, como componente básico considerado en este estudio, el despachador solo hace referencia al asignado a la agencia de bomberos.

Central de despacho: Unidades de atención localizadas sobre el territorio; allí se tiene personal ubicado en cada estación de bomberos, encargada de dar aviso y salida a las unidades de intervención en emergencias pre-hospitalarias.

Unidades de Intervención: Personal capacitado en la atención de emergencias en el lugar de los incidentes.

La metodología de simulación desarrollada, descrita abajo, captura las diferentes intervenciones que realizan estos actores a la hora de atender las emergencias pre-hospitalarias en la ciudad.

2.2 Modelo de Simulación

El sistema de emergencias comprende el arribo de llamadas solicitando servicios especiales que requieren un despliegue de atención inmediata. El modelo hace seguimiento al flujo de los eventos (llamadas) dentro del sistema de emergencias SIES-M. La estructura macro de operación mediante la cual fluyen estas llamadas en el sistema fue completamente diagramada

usando la notación BPMN² como un componente del proyecto de Teleasistencia (*Proyecto Teleasistencia 2011*), este se elaboró de acuerdo al proceso identificado en el SIES-M. El proceso fue validado con personal experto en atención pre-hospitalaria y del sistema de seguridad y emergencias de la ciudad de Medellín. La estructura identificada para el modelo consta de cinco etapas, las cuales representan los procesos macros más representativos dentro del sistema. El modelo fue implementado en el software Simul8.

La Figura 1, resume el esquema general del modelo de simulación discreto que se ha desarrollado. En este se tienen identificadas cinco etapas principales en las que se desenvuelven todos los posibles eventos que ingresan a la línea.

La primera etapa comprende el análisis de los casos desde que ingresa una llamada al sistema 123; se hacen análisis específicos de la tasa de llamadas que ingresan a la línea para determinar condiciones de operación y congestión de la tecnología existente. Esta etapa comprende además el análisis de las llamadas efectivamente contestadas por el personal (receptores) y los tiempos usados para la recepción de la información primaria. Para el análisis se ha involucrado la dinámica temporal durante diversas horas del día de acuerdo a como ingresan las llamadas y eventos en el sistema.

La segunda etapa corresponde al proceso de verificación de eventos por parte de los despachadores de las agencias. Comprende desde que cada despachador recibe por parte de los receptores los casos ya clasificados. Los despachadores se deben encargar de validar que están ante una emergencia real o potencial y coordinar la atención con las unidades de respuesta que tienen distribuidas sobre el territorio para hacer una asignación adecuada de los recursos.

La tercera etapa comprende la coordinación de recursos con las unidades de respuesta y consiste en la conexión que deben hacer los despachadores con las agencias respondientes o unidades móviles que existen en la ciudad, verificando su disponibilidad, cercanía u apoyo requerido para la atención del evento. En general, los principales procesos son la valoración y asignación de recursos disponibles. Se simulan los tiempos de desplazamiento de los recursos, los eventos de valoración de la emergencia y la atención de las unidades respondientes.

La cuarta etapa de “Atención en Sitio” simula los principales tiempos de los macro-procesos involucrados en la atención pre-hospitalaria y atención en el sitio de las emergencias. Estos son los tiempos usados por personal encargado de atender emergencias, entre los que se destacan técnicos en atención pre-hospitalaria ó APH, Policía, Bomberos, entre otros. Estos Tiempos no son susceptibles de “optimizar” dado que están relacionados con la magnitud del evento.

La quinta etapa de “Traslado a Unidades de Atención” representa la simulación de la remisión de casos no resueltos en el lugar del incidente y que requieren un traslado hasta las unidades especiales de atención, como pueden ser hospitales, estaciones de policía, entre otros. En el modelo se asume que los tiempos de atención utilizados por los diversos receptores siguen la misma distribución, aunque en la práctica el registro de información puede ser demorado.

La Figura 1, resume el diagrama general de simulación realizado en el software simul8.

NOTA: *Por acuerdos de confidencialidad con la empresa de seguridad urbana de Medellín - ESU- se omite la descripción detallada de algunos procesos o datos del SIES-M.*

² BPMN - Business Process Modeling Notation

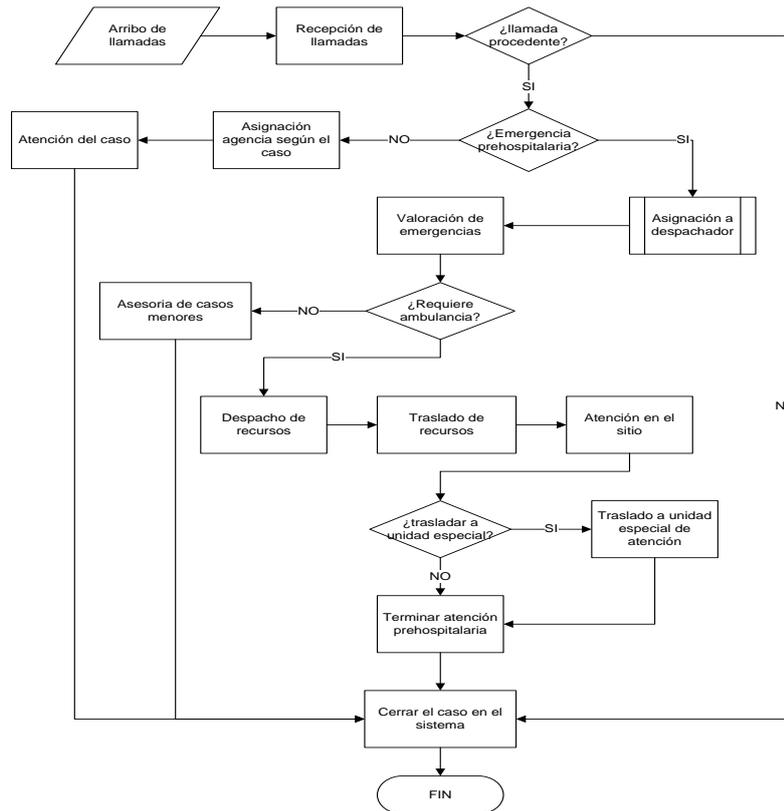


Figura 1. Diagrama general del Modelo

2.3 Datos

La información utilizada en el modelo fue extraída del sistema de información principal del SIES-M y de reunión con expertos en la operación del sistema de emergencias en Medellín. La información disponible está detallada en un rango mensual de junio de 2010 a junio de 2011, se tiene información semanal del mes de mayo de 2011 y se tiene información consolidada cada 15 minutos para la última semana del mes de junio de 2011. Se utilizó información documentada de cada una de las agencias que componen la línea 123. La Figura 2, describe el comportamiento típico del arribo de llamadas durante el día. Este comportamiento sugiere que el modelo debe operar con parámetros de llegada de eventos que varían en el tiempo. Esto acorde a la evidencia hallada en el sistema real, donde en horas de la tarde, el sistema presenta la mayor congestión y necesidad de enviar recursos.

Volumen de Llamadas durante el día

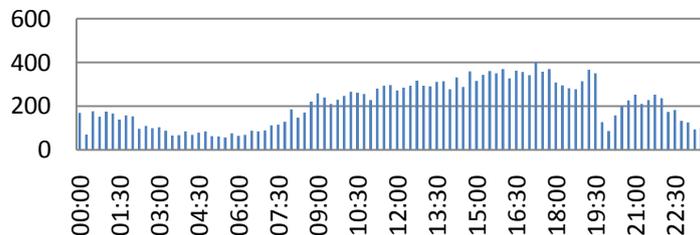


Figura 2. Volumen de llamadas cada 15 minutos

La Figura 3, resume el comportamiento del problema principal reportado por las autoridades; en este caso, el volumen de llamadas abandonadas y de llamadas improcedentes o que no representan una emergencia real representan más del 90%, dejando solo un 10% como llamadas procedentes de emergencias; esto ha generado problemas críticos en la atención oportuna a emergencias reales y potenciales. Este es uno de los puntos críticos que las autoridades vienen trabajando con el fin de brindar una mejor atención a la ciudadanía.

Mediante una simulación de Montecarlo, se estima la probabilidad para el modelo de que la llamada entrante sea abandonada, improcedente o dirigida a alguna de las agencias.

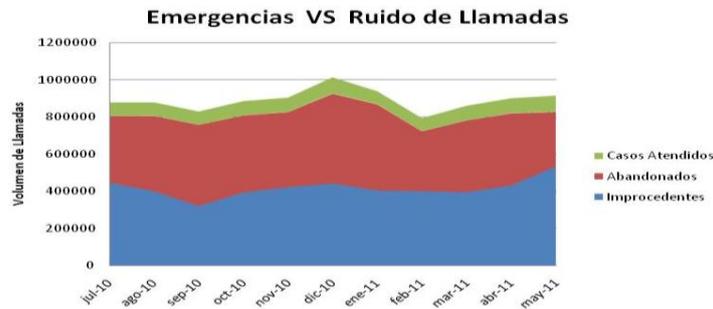


Figura 3. Volumen de llamadas vs. Casos reales de emergencia

El tiempo medio de atención de eventos en la etapa de recepción se da el 80% de las veces antes de los 120 segundos, la mayoría de casos son atendidos antes de los 45 y 60 segundos. Se observa un comportamiento “poco común” de casos registrados en el sistema con tiempos superiores incluso a los cinco minutos, hechos que ameritan seguimiento y control en el sistema. El modelo permitió determinar las nuevas condiciones del sistema al adoptar políticas o estrategias de reducción en los tiempos de operación.

El tiempo medio de atención en la etapa de despacho, se atienden el 73% de los casos antes de los 6 minutos, el 95% de los casos son atendidos entre los 17 minutos. Esta etapa comprende el tiempo en que el despachador debe validar y verificar que existe una emergencia y coordinar con quien deberá atenderla en el sitio. El tiempo registrado desde la etapa de la atención en despacho hasta la finalización del evento en el sistema dura en el sistema para el 80% de los casos más comunes entre 25 y 35 minutos. Estos tres tiempos resaltados, representan indicadores clave utilizados en las líneas de emergencia a nivel mundial, estos miden la capacidad de respuesta que tiene el centro de emergencias para atender oportunamente la ciudadanía. La siguiente sección presenta un resumen de la validación realizada para el modelo.

2.4 Validación

Para validar el modelo implementado, se usó la metodología propuesta por (Forrester and Senge 1980), (Barlas 1996), (Sargent 1996) y (Martis 2006); la cual busca darle confiabilidad a los modelos de simulación al representar adecuadamente el sistema real, esto mediante la aprobación de que el modelo representa adecuadamente el comportamiento que se evidencia en el sistema real; que la estructura del modelo es acorde a la experiencia que se tiene del funcionamiento del sistema. Además, se valida que las políticas en el modelo pueden representarse adecuadamente en el sistema real.

La estructura del modelo fue validada con personal expertos del sistema de emergencias de Medellín, quienes apoyaron y validaron la construcción del flujograma que representa la estructura del modelo. Además, los diversos operadores de las agencias participaron activamente en la descripción del sistema. En general, se verificó que el modelo representa de manera macro, las principales operaciones e interacciones que se registran en el sistema real.

La validación del comportamiento del modelo muestra que la mayoría de los tiempos de atención recae sobre la intervención directa en el sitio realizada por las agencias en los casos. Las intervenciones en el centro de operación SIES-M mejoran la asignación y cobertura de casos allí. Sin embargo, es requerida una integración total de todas las agencias en la búsqueda de unos estándares de calidad para todo el sistema respecto a los tiempos de atención.

La validación de políticas muestra principalmente que el tiempo total de atención en el sistema, estadísticamente no presenta altas variaciones. Sin embargo, operando bajo estándares

internacionales como el NENA 112 ó el 911 de EEUU, el sistema aumentaría la “cobertura” de eventos en etapa de despacho, disminuyendo la cantidad de abandonos de la misma. Los puntos de intervención son fuertemente susceptibles de intervenir en el mundo real, dado que como se evidencia con el modelo, estos a nivel mundial han sido foco de mejoras constantes y es un trabajo posible en el sistema analizado.

Adicionalmente, se realizaron validaciones de los datos simulados contra los datos observados en varios indicadores. La Tabla 1, presenta el total de casos atendidos por cada agencia principal del sistema contra los resultados del modelo.

Tabla 1. Casos por agencia: Observado vs Simulado

| Agencia | Observado | Simulado | Diferencia Absoluta |
|---------------|-----------|----------|---------------------|
| No Procedente | 85% | 84,60% | 0,40% |
| Salud | 4% | 3,99% | 0,01% |
| Policía | 7,51% | 7,54% | 0,03% |
| Bomberos | 0,74% | 0,70% | 0,04% |
| Tránsito | 1,08% | 1,08% | 0,00% |
| Otras AG | 1,68% | 2,08% | 0,40% |

Comparaciones similares se realizaron, la mayor diferencia hallada entre valores observados y simulados se presentan en el volumen total de llamadas que ingresan en el sistema. Por limitaciones en el número de páginas, no adicionamos todas validaciones de este tipo, ya que contábamos con más de 80 variables y parámetros en el modelo.

Volumen Total de llamadas en un día

| Valor Observado | Valor Simulado | Diferencia Absoluta |
|-----------------|-------------------|---------------------|
| 29.710 | (27.112 - 27.174) | 8.6% |

La validación realizada, concluye que el modelo es adecuado para representar la estructura macro de la operación logística por la cual fluyen los eventos en el número de emergencias desde que se registra las llamadas en el sistema. A continuación se presenta los resultados de la simulación sobre tres etapas claves del sistema de emergencias de Medellín.

3. Resultados de Simulación

Con el modelo validado, la atención se centró en el análisis del objetivo primario del modelo, el cual consiste en identificar los principales puntos de intervención o cuellos de botella en los que se debe centrar la política de mejoramiento del sistema de emergencias. Particularmente, se hacen simulaciones del tipo: “*qué pasaría si*”. En este caso, que pasaría si el sistema operará en las tres etapas clave (recepción de llamadas, despacho y la etapa de traslado de recursos hasta la atención en sitio), bajo estándares de tiempo internacional.

Como indicadores de escenario base se trabajó con el tiempo total en promedio que duran los casos más comunes dentro del sistema; esto es, incluyendo el tiempo de recepción, tiempo de despacho, tiempo de desplazamiento al sitio hasta la finalización del evento. La Tabla 2 resume estos tiempos, si bien el estudio se centra en atención pre-hospitalaria, se muestra además los tiempos usados para otro tipo de eventos dentro del SIES-M.

Tabla 2. Tiempo total medio por tipo de caso

| Tipo de caso | Tiempo Total medio de atención |
|-------------------|--------------------------------|
| Pre-hospitalarias | 139 min |
| Casos Policía | 15 min (más comunes) |

| | | |
|-------------------|----------------------|----------|
| Casos Bomberos | | 80 min |
| Casos de tránsito | 31 min (más comunes) | |
| Tiempo de espera | | 0.21 min |

La primera medida de simulación busca que los tiempos de atención en la etapa de recepción se disminuyan. En este caso con la simulación no se aumenta la cantidad de recursos y receptores para hallar tiempos adecuados. Este trabajo de simulación se hace desde la perspectiva; que pasaría en el sistema bajo las condiciones actuales, se logra que los receptores atiendan en un menor tiempo, tomando la mayor cantidad de información relevante para la atención de los eventos de emergencia. Para ello, se modificaron los parámetros de atención dentro del modelo, en este caso para apuntarle a estándares internacionales como el NENA 112 y 911 de EEUU, donde la recepción debería darse en el 95% de los casos en menos de 30 segundos; el tiempo actual se da aproximadamente en tres minutos.

La simulación bajo estas condiciones muestra que (ver Tabla 3) el tiempo total medio por tipo de caso se disminuye marginalmente, esto sugiere que la etapa de recepción claramente no es pareto de toda la atención. Sin embargo, al analizar el tiempo de espera, el cual corresponde al tiempo que en promedio las personas deben esperar en la línea antes de que un receptor tome su caso, cae a cero; esto significa que operando la etapa de recepción en menores tiempos, se asegura que habrá una adecuada primera respuesta por parte de los receptores, disminuyendo los casos abandonados por espera y mejorando la recolección de información primaria.

Tabla 3. Simulación con mejora en los tiempos de Recepción de eventos

| Tipo de caso | % reducción de tiempo total |
|-------------------|--------------------------------|
| Pre-hospitalarias | -3 |
| Casos Policía | -2% |
| Casos Bomberos | 0% |
| Casos de tránsito | 1% |
| Tiempo de espera | 100% (t=0:00) |

En el sistema real y como propuesta de intervención directa para mejorar este punto crítico identificado, se diseñó un protocolo de atención básica para la etapa de recepción; además se realizó una reclasificación de la tipología como deben ser clasificados los eventos, reduciendo un listado original que existía en un 40%. Con estas intervenciones, se espera del sistema real, que cada vez se vaya acercando a tiempos de operación comparables internacionalmente.

La segunda medida de simulación está orientada al análisis de los tiempos de atención de la etapa de despacho. En este caso, los estándares internacionales del NENA 112 y 911 de EEUU hablan de un tiempo para el 95% de los casos de 6 minutos. Actualmente esto se da en 17 minutos. Usando la medida internacional, el modelo registra que los tiempos totales de atención pre-hospitalaria se aumentan un 8%. Sin embargo al hacer un análisis, se observó que con la reducción en los tiempos de despacho, en el modelo se está aumentando la cobertura en un 13% y la atención de casos de asesoría en un 20%, estos si bien aumentan la cobertura sobre toda la población, generan en el modelo que el despacho para eventos de desplazamiento de recursos se congestiones para algunos casos. Para los otros tipos de casos, se evidencia reducciones significativas, además el tiempo de espera de las personas disminuyó en un 50%.

Como recomendaciones para el sistema real, se propuso una serie de intervenciones como el protocolo de atención de despachadores, además de recomendaciones para el sistema de información que permitan identificar rápidamente los recursos más cercanos a los eventos y la disponibilidad de estos, así como la identificación rápida de casos duplicados en el sistema.

Tabla 4. Simulación con mejora en los tiempos de Despacho de eventos

| Tipo de caso | % reducción de tiempo total |
|-------------------|--------------------------------|
| Pre-hospitalarias | +8%* |
| Casos Policía | -2% |
| Casos Bomberos | -7% |
| Casos de tránsito | -5% |
| Tiempo de espera | -50% (t=0:11) |

La tercera medida simulada, son los tiempos de desplazamiento y atención en sitio, actualmente el 80% de los casos son atendidos en unos 30 minutos y el 90% de casos en 80 minutos en promedio. Los estándares internacionales hablan de una atención en esta etapa del 95% de los casos entre 30 y 45 minutos. Nuevamente, los tiempos están lejanos a estos tiempos deseados. Esta etapa es de especial cuidado porque los tiempos utilizados para atender en el sitio la emergencia como tal, depende de la cantidad de personal lesionadas, la complejidad de las lesiones. Así mismo, como de factores externos que pueden influir en esta atención, como son los desplazamientos en horas de mayor congestión vial, zonas de difícil acceso o información del evento mal registrada.

La simulación realizada, considerando estas posibles limitaciones muestra que en general, para todas los tipos de casos los tiempos se reducen considerablemente ya que atacan el pareto de tiempos altos que se registran hoy en día en el sistema; adicionalmente, no se hacen simulaciones con la inclusión de más recursos y la cobertura de casos se aumenta en promedio en un 25% para todos los tipos. Este resultado soporta las intervenciones deseadas para el sistema de emergencias, el cual podría operar bajo estándares de calidad y ofrecer una mayor cobertura.

Tabla 5. Simulación con mejora en los tiempos de Desplazamiento y Atención en sitio

| Tipo de caso | % reducción de tiempo total | Cobertura de casos |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Pre-hospitalarias | +8%* | +25% |
| Casos Policía | -2% | +26% |
| Casos Bomberos | -7% | +27% |
| Casos de tránsito | -5% | +31% |
| Tiempo de espera | -50% (t=0:10) | |

4. Conclusiones

Conocer la operación actual del Sistema de atención pre-hospitalaria permitió identificar de forma detallada el funcionamiento de cada una de sus etapas y los embotellamientos y malas operaciones que ocasionan retrasos en la atención e ineficiencia en el uso de los recursos utilizados. Así mismo, soportó el desarrollo de propuestas encaminadas al mejoramiento del Sistema, entre ellas, diseño de protocolos, guías de atención, reclasificación de eventos, manejo de llamadas improcedentes, estandarización de procesos y el diseño de un proceso reestructurado e integrado para el Sistema de atención de emergencias de la ciudad de Medellín.

De la operación general del sistema de emergencias, se ha recomendado la intervención en puntos críticos de operación, intervenciones que deben darse de manera constante y poco a poco para permitir una adecuada estrategia de mejoramiento de la línea 123. El modelo ha permitido identificar que sin la necesidad de incluir más recursos como ambulancia o personal operativo, se podrían alcanzar reducciones de tiempo significativas, esto, si se dan mejoras en la operación logística de algunos procesos internos que se dan hoy dentro del SIES-M. Es destacable el

trabajo conjunto realizado con las agencias internas que operan la línea, lo cual ha permitido que las propuestas de solución sean acordes a las necesidades reales del sistema de emergencias de Medellín.

Respecto a la metodología usada, la simulación es una potente herramienta que permite identificar y trazar rumbos de acciones para las intervenciones logísticas no solo de este sistema de emergencias sino de otros sistemas en los que se pueda aplicar. La simulación permitió soportar propuestas de intervención directa en la atención de emergencias actual, como fue el diseño de protocolos de atención para la etapa de recepción y de despacho. Así como la reclasificación del listado de eventos posibles, el cual fue reducido en más de un 40%. Análisis similares sobre otros indicadores (no presentados en este artículo) del sistema pueden ser soportados con el modelamiento realizado.

Agradecimientos.

Agradecemos el soporte financiero brindado por ARTICA (Alianza regional en TIC aplicadas), ESU (empresa de seguridad urbana de Medellín) y a la Universidad de Antioquia a través de los fondos BUPPE (Banco Universitario de Programas y Proyectos de Extensión) y CODI (Comité para el Desarrollo de la Investigación).

Referencias.

- Alessandra A. J., Grazman T. E., et al. (1978). "Using Simulation in hospital planning." *Simulation* **30**: 62-67.
- Barlas, Y. (1996). "Formal aspects of model validity and validation in system dynamics", *System Dynamics Review*, Vol 12, No. 3, pp183-210."
- Congreso de la República (2011). Ley 1438 de 2011. Por medio de la cual se reforma el sistema general de seguridad social y se dictan otras disposiciones.
- ESU (2012). "Empresa de Seguridad Urbana de Medellín: Contenidos varios. online: <http://www.esu.com.co/esu/>."
- Fetter R. B and Thompson J.D. (1965). "The simulation of hospital systems." *Operational Research* **13**: 689-711.
- Forrester, J. W. and P. Senge (1980). "Tests for building confidence in System Dynamics Models, *TIMS Studies in the Management Sciences*, Vol 14, pp209-228."
- García M., Centeno M. A, et al. (1995). "Reducing time in a emergency room via a fast-track. In Alexopoulos C, Kang K, lilegdon WR, Goldsman D. (eds). *Proceeding of the 1995 Winter Simulation Conference*. IEEE Washington DC, USA 3-6 December, pp 1048-1053."
- Griffiths J.D., N. Price-Lloyd, et al. (2005). "Modelling the requirement for supplementary nurses in an intensive care unit " *Journal of the Operational Research Society* **56**: 126-133.
- Harper, P. R. and A.K. Shahani. (2002). "Modelling for the planning and management of bed capacities in hospitals." *Journal of the Operational Research Society* **53**: 11-18
- Henoa Moreno A., Puerta Muñoz N., et al. (2008). "Manejo Pre-hospitalario del trauma craneoencefálico (TEC) por accidente de tránsito en la ciudad de Medellín." *Tesis de grado para optar al título de Tecnólogo en Atención Prehospitalaria -APH- Universidad CES - Medellín Colombia*.
- J. B. Jun, S. H. Jacobson, et al. (1999). "Application of Discrete-Event Simulation in Health Care Clinics: A Survey." *The Journal of the Operational Research Society* **50**(2): 109-123.
- Martis, M. S. (2006). "Validation of Simulation Based Models: A Theoretical Outlook. *The Electronic Journal of Business Research Methods* Volume 4 Issue 1, pp 39 -46."
- Proyecto Telesistencia (2011). "convenio especial de cooperación y cofinanciación de proyecto de investigación, desarrollo e innovación Número 1000/050/2011 firmado entre la Empresa de Seguridad Urbana ESU y la Universidad de Antioquia."
- S. G. Henderson, B. Biller, et al. (2007). "Tutorial: Advances and Challenges in Healthcare simulation modeling. *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*."
- Sargent, R. G. (1996). "Verifying and Validating Simulation Models, *Proc. of 1996 Winter Simulation Conf.*, pp. 55-64."
- Smith E. A and Warner H. R. (1971). "Simulation of a multiphasic screening procedure for hospital admissions." *Simulation* **17**: 57-64.